

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT MINE, PETROL ȘI GAZE**

Drd. ing. PASCU Ileana

TEZĂ DE DOCTORAT

**ANALIZA RISCURILOR GEOTEHNICE DE PE AMPLASAMENTUL
AUTOSTRĂZII A1, TRONSONUL LUGOJ-DEVA, LOT 2,
(KM 27+620 M-56+220 M) ȘI SOLUȚII DE REDUCERE A ACESTORA**

**Conducător de doctorat,
Prof. univ. dr. ing. Mircea GEORGESCU**

Petroșani, 2020

CUPRINS

INTRODUCERE

CAPITOLUL I STADIUL ACTUAL AL CONSTRUCȚIEI AUTOSTRĂZII A1 PE TRONSONUL ANALIZAT

- I.1. Considerații generale despre autostrada A1
- I.2. Caracteristici geografice și geomorfologice ale zonei studiate
- I.3. Caracteristici climatice ale zonei
- I.4. Așezări umane și biodiversitatea din zona studiată
- I.5. Stadiul actual al lucrărilor la autostrada A1 pe tronsonul analizat

CAPITOLUL II CARACTERISTICILE GEOMECHANICE ALE TERENULUI DE BAZĂ ȘI ALE PĂMÂNTURILOR UTILIZATE LA CONSTRUCȚIA AUTOSTRĂZII

- II.1. Caracteristicile geomecanice ale terenului de bază
- II.2. Terenuri dificile
- II.3. Terasamente
- II.4. Caracteristicile geomecanice ale pământurilor utilizate la construcție

CAPITOLUL III ANALIZA STABILITĂȚII TRONSONULUI DE AUTOSTRADĂ

- III.1. Generalități
- III.2. Metoda de analiză a stabilității
- III.3. Analiza tasării pe secțiunea D
- III.4. Analiza stabilității pe Secțiunile A÷E
- III.5. Dimensionarea structurii rutiere pe Secțiunile A÷E
- III.6. Concluzii

CAPITOLUL IV ANALIZA RISCURILOR DE PE AMPLASAMENTUL AUTOSTRĂZII A1, PE TRONSONUL ANALIZAT

- IV.1. Considerații generale privind riscurile
- IV.2. Riscurile de pe amplasamentul autostrăzii A1, pe tronsonul analizat

CAPITOLUL V SOLUȚII DE REDUCERE A RISCURILOR GEOTEHNICE DE PE AMPLASAMENTUL TRONSONULUI DE AUTOSTRADĂ ANALIZAT

- V.1. Soluții de îmbunătățire a calității terenului de bază/de fundare
- V.2. Soluții de îmbunătățire a stabilității structurii de rezistență
- V.3. Lucrări de asanare, protecție, susținere și consolidare
- V.4. Soluții de reabilitare a mediului
- V.5. Evaluarea Riscului Funcțional și Planificarea Acțiunilor
- V.6. Monitorizarea construcției

CAPITOLUL VI CERCETĂRI PRIVIND REALIZAREA TUNELURILOR PE SUBSECȚIUNEA E2.

- VI.1. Generalități
- VI.2. Investigații de teren și laborator
- VI.3. Analiza stabilității tunelurilor
- VI.4. Verificări statice ale susținerii/căptușelii definitive
- VI.5. Tehnologia de realizare a tunelurilor
- VI.6. Monitorizarea execuției tunelurilor

CAPITOLUL VII CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

- VII.1. Concluzii generale
- VII.2. Contribuții personale

BIBLIOGRAFIE

ANEXE

Sinteza tezei de doctorat

Teza de doctorat intitulată *Analiza riscurilor geotehnice de pe amplasamentul autostrăzii A1, tronsonul Lugoj-Deva, Lot 2, (km 27+620 m-56+220 m) și soluții de reducere a acestora*, structurată pe șapte capitole, evidențiază problematica ce vizează execuția unui obiectiv de mare importanță și de o complexitate deosebită cum este o autostradă.

Având în vedere implicarea mea directă la execuția tronsonului menționat în titlul tezei am avut o contribuție apreciabilă în determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundație și ale pământurilor ce au intrat în structura de rezistență a autostrăzii. Aceasta mi-a permis să identific și să evaluez riscurile geotehnice ce au apărut în timpul execuției lucrării, dar și cele ce pot apărea pe durata exploatarei și să propun măsuri de reducere a acestora, măsuri care s-au aplicat înainte ca materialele de construcție să fie puse în operă, cât și soluții de stabilizare a structurilor (rambleuri, debleuri) pe perioada de folosință a tronsonului de autostradă analizat.

În *Introducere* se arată importanța realizării unui astfel de obiectiv pentru dezvoltarea economico-socială a României.

Tot aici sunt prezentate scopul, obiectivele și metodele de cercetare care au stat la baza demersului de a stabili riscurile geotehnice generate de astfel de activități și de ale contracararea.

Capitolul I Stadiul actual al construcției autostrăzii A1 pe tronsonul analizat, după un scurt istoric al proiectului de ansamblu al autostrăzii A1, parte a coridorului IV de Autostrăzi Nădlac-Constanța, detaliază, având la bază *Studiul de Fezabilitate*, considerentele ce au condus la alegerea unei variante de traseu care să optimizeze costurile și să creeze cât mai puține dificultăți din punct de vedere geotehnic și al impactului asupra mediului pentru tronsonul de autostradă luat în analiză în teza de doctorat.

Autostrada Lugoj – Deva, Lot 2 se încadrează, în categoria de importanță *B* - construcții de importanță deosebită, iar privind regimul drumurilor, clasa tehnică este I.

Lotul 2 al autostrăzii Lugoj-Deva, are lungimea de 28,600 km fiind împărțit, la rândul său, în cinci secțiuni (A ÷ E) având o dezvoltare generală pe direcția Sud-Vest – Nord-Est, pe un relief deluros, trecând pe teritoriile administrative ale localităților: Traian Vuia, Dumbrava, Făget, Margina (Nemești, Zorani), Costeiu de Sus și Coșevița.

Din punct de vedere geologic, zona analizată aparține Depresiunii Panonice, care a apărut ca bazin de sedimentare, prin scufundarea, pe linii de fractură, a unei porțiuni din regiunea carpatică în timpul mișcărilor orogenice.

Traseul autostrăzii Deva – Lugoj, Lot 2, străbate Câmpia Becheiului pe teritoriul județului Timiș și Dealurile Fragului la limita dintre județele Timiș și Hunedoara.

Pe traseul autostrăzii Lugoj – Deva, Lot 2 se pot distinge următoarele unități morfologice majore: zona teraselor și luncilor; zona colinară cu pante mai line; zona deluroasă cu pante mai abrupte.

Rețeaua hidrografică a zonei străbătută de traseul autostrăzii pe tronsonul investigat este drenat de râul Bega. La acesta se adaugă lacurile antropice și o rețea de canale de desecare și irigații.

Din punct de vedere hidrogeologic, traseul autostrăzii Lugoj – Deva, Lot 2, se încadrează în bazinul hidrografic Timiș – Bega, fiind delimitate două structuri acvifere: strate acvifere freatice și strate acvifere de medie și mare adâncime.

Din punct de vedere climatic, amplasamentul cercetat se situează într-un sector cu climă continental-moderată, cu etaj topoclimatic de câmpie și colinar, cu arii topoclimatice de adăpost (tip climatic II). Adâncimea de îngheț, măsurată de la nivelul solului, este cuprinsă între 70 – 80 cm.

Din punct de vedere seismic, zona în care se găsește tronsonul de autostradă se caracterizează printr-o *acelerație de vârf* ($a_g = 0,08g-0,12g$), o *acelerație verticală a terenului* ($a_{vg} = 0,056g-0,084g$) și o *perioada de control* ($colt$) ($T_C = 0,7s$).

Tronsonul de Autostradă Lugoj-Deva, Lot 2, este necesar și oportun pentru crearea unei căi de comunicare modernă, cu implicații în dezvoltarea regională a zonei, a fluidizării traficului de tranzit. De asemenea, prin realizarea autostrăzii Lugoj-Deva va crește siguranța utilizatorilor, se vor micșora timpii de parcurs, iar poluarea manifestată în prezent va scădea în zonele tranzitate.

Pe de altă parte, construcția Autostrăzii va avea și un impact negativ, prin fragmentarea habitatelor, scoaterea din circuitul economic a unor suprafețe de teren agricol și prin poluare.

În ultima parte a capitolului se face o detaliere a situației actuale a tronsonului analizat pe cele cinci secțiuni în care a fost împărțit. Se descrie zona, se prezintă lucrările executate pe fiecare Secțiune în parte (terasamente, lucrări de artă etc) și stadiul lor de realizare.

Tronsonul de autostradă studiat este executat în proporție de 100% și dat în funcțiune din martie 2017 între km: 27+620 ÷ 43+000 și în aprilie 2018 între km: 43+000 ÷ 47+090. Zona cu trafic este prima zonă enumerată mai sus, deși și cea de a doua zonă este funcțională în proporție de 100%, aceasta nu este utilizată deoarece Secțiunea E între km 47+090 ÷ km 56+220 nu este finalizată.

Capitolul II Caracteristicile geomecanice ale terenului de bază și ale pământurilor utilizate la construcția autostrăzii este realizat cu scopul de a prezenta investigațiile geotehnice efectuate atât asupra terenului de bază cât și asupra pământurilor utilizate la construcția tronsonului de autostradă analizat.

Menționez că, atât înainte, cât și în perioada de execuție a lotului de autostradă, ca șef de laborator a *Laboratorului Central de Construcții CCF-București* am fost implicată direct în realizarea studiilor geotehnice pe tronsonul de autostradă, Lot 2 ce face obiectul tezei de doctorat. La Studiile efectuate pe forajele prezentate în cadrul acestui proiect, centralizate în Anexele atașate tezei, am avut un aport personal la realizarea, verificarea și centralizarea tuturor testelor fizice și mecanice efectuate pe acest tronson.

Investigațiile geotehnice ale terenului de bază s-au efectuat pentru fiecare Secțiune (A÷E) în parte având la bază cele 180 de foraje (cu adâncimi cuprinse între 6,00 m și 35,00 m) și 33 de penetrări dinamice realizate pe acest tronson de autostradă. Din foraje au fost recoltate probe continue, alternativ din 2 în 2 metri și/sau la schimbarea de strat, probe de pământ netulburate și carote care au fost analizate în laborator, în conformitate cu standardele în vigoare. În cazul în care în foraje s-a întâlnit o infiltrație de apă sau un nivel hidrostatic acestea au fost menționate în fișa forajului.

Pe probele prelevate, tulburate (T), netulburate (N) și carote (C), au fost efectuate analize de laborator în conformitate cu standardele în vigoare. Rezultatele detaliate ale încercărilor de laborator efectuate, pentru tronsonul care face obiectul tezei de doctorat, sunt date în Anexele 1-4 atașate tezei de doctorat. Analizele de laborator și investigațiile geotehnice, au permis o evaluare amănunțită a caracteristicilor rocilor întâlnite de-a lungul autostrăzii Lugoj – Deva, Lot 2, roci/stratificații care au fost împărțite în orizonturi cu proprietăți fizico-mecanice asemănătoare. În capitolul II, §II.1, sunt prezentate în detaliu aceste caracteristici.

De-a lungul autostrăzii Lugoj – Deva, Lot 2, au fost întâlnite și terenuri dificile: pământuri coezive cu consistență redusă și pământuri cu umflări și contracții mari – PUCM (pământuri active) de care s-a ținut seama la proiectarea lucrărilor.

Materialele întâlnite în adâncime, care vor constitui fundația sistemului rutier sau patul drumului sunt alcătuite din: argile, argile nisipoase, argile prăfoase, nisipuri argiloase, nisipuri prăfoase, prafuri nisipoase și prafuri nisipoase argiloase. Acestea se încadrează, conform PD 177-2001, în categoria pământurilor P3, P4 și P5 sensibile și foarte sensibile la îngheț.

Deoarece construcția autostrăzii este realizată din materiale locale a fost necesară determinarea caracteristicilor geomecanice ale pământurilor utilizate la construcție.

Din punct de vedere al calității, conform STAS 2914-84, pământurile pentru terasamente analizate până la adâncimea de 1,00 – 2,00 m sub linia roșie se încadrează în categoriile: 3a-mediocră, 3b-mediocră, 4b-mediocră și 4d-rea.

Pentru umplutură, în corpul rambleurilor, s-a utilizat material coeziv. Ca urmare a rezultatelor obținute, prin analize de laborator (caracteristicile fizico-mecanice, verificare la îngheț – dezgheț) acestea au putut fi utilizate la umpluturi în corpul autostrăzii, încadrându-se în cerințele normativelor în vigoare.

Capitolul III Analiza stabilității tronsonului de autostradă este necesar pentru a evidenția punctele slabe ale construcției tronsonului de autostradă luat în studiu.

Metoda care a stat la baza analizei stabilității terasamentelor este metoda de echilibru limită Bishop, utilizându-se programul SLOPE/W - versiunea 2007.

La analiza stabilității au fost luate în considerare atât suprafețe potențiale de alunecare de formă circulară cât și poligonală (blocuri). Pentru fiecare tip de geometrie a suprafețelor potențiale de alunecare, după determinarea suprafeței cu factorul de stabilitate cel mai mic, programul rulează o procedură de optimizare a acesteia. La final a rezultat, corespunzător factorului de stabilitate minim, o suprafață cu geometrie compusă atunci când în terenul natural există straturi cu variații însemnate ale parametrilor rezistenței la forfecare.

Calcululele de tasare au fost efectuate cu programul Settle3D. Acesta este utilizat pentru analiza 3D de consolidare pe verticală și de tasare a terenului sub acțiunea sarcinilor de suprafață (fundații, terasamente).

Cu ajutorul programului SLOPE/W, versiunea 2007, au fost calculați *factorii de siguranță minimi efectiv* $F_s^{efectiv}$ atât pentru suprafețe circulare, cât și pentru suprafețe poligonale în cazul luării în considerare și al efectului seismic.

Au fost identificate, pe secțiunile A-E, zone unde terenul de fundare nu respectă caracteristicile impuse de standardele și normativele în vigoare rezultând un factor de siguranță $F_s^{efectiv} < 1,1$, ceea ce a necesitat îmbunătățiri suplimentare (în faza de proiectare) ce au constat în blocaje de piatră, perne de balast, geogri și geotextile.

Aceste măsuri de siguranță s-au luat pentru creșterea capacității portante necesare menținerii corpului autostrăzii și evitarea riscului de apariție a fenomenului de cedare, fisurare sau tasare neuniformă.

Centralizarea datelor obținute pentru cele cinci Secțiuni de pe Lotul 2 este prezentată în tabelele nr. III.1- III.5 iar în figurile nr.III.6 - III.17 sunt date analizele de stabilitate (calculul factorilor de siguranță minimi) folosind programul SLOPE/W pentru secțiunile de calcul din tabelul nr.III.5. Precizez că astfel de analize le-am efectuat pentru toate secțiunile de calcul de pe tronsonul de autostradă analizat având la bază datele din tabelele III.1-III.4 și proprietățile fizico-mecanice determinate și prezentate în cap.II, §II.1.3.

În etapa de execuție s-au derulat, pe toată lungimea tronsonului de autostradă, teste specifice de laborator pentru verificarea terenului de fundare, executându-se, conform condițiilor obligatorii impuse de standarde, grade de compactare și determinarea capacității portante (Benkelman). Secțiunile de calcul precum și testele efectuate pe fiecare secțiune în parte cu rezultatele obținute și materialele testate, au fost centralizate în Anexa 5.

Condițiile impuse de normele în vigoare, pentru verificarea execuției terenului de fundare, a umpluturii din ampriza autostrăzii și a structurii rutiere sunt prezentate în tabelul nr.III.6, iar în fig.nr. III.18 sunt reprezentate grafic valorile obținute ale gradului de compactare pe secțiunile studiate pentru terenul de fundare. Reprezentări asemănătoare s-au obținut și pentru umplutură și structura rutieră, rezultatele obținute sunt valori admisibile. După cum reiese din centralizarea datelor în Anexa nr.5, terenul de fundare a fost îmbunătățit cu un aport de liant hidraulic 2,5%, pentru reducerea umidității și obținerea unei capacități portante superioare celei impuse de normativ.

Deformabilitatea (deflexiunea) terenului s-a stabilit prin măsurători cu deflectometru cu pârghie, conform Normativului pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu structuri rutiere suple și semirigide, indicativ CD 31.

Valorile admisibile ale deflexiunii la nivelul terenului de fundare, la nivelul superior al terasamentului (fără strat de formă) sau la nivelul inferior al stratului de formă sunt în funcție de tipul pământului (tabel nr. III.7 și fig.nr.III.19).

În ultima parte a capitoului s-a efectuat dimensionarea structurii rutiere pe cele cinci Secțiuni, care a constat în (cf. Normativului PD 177 – 2001): stabilirea traficului de calcul; stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului; alegerea alcătuirii sistemului rutier; analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard; stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier; verificarea la acțiunea fenomenului de îngheț – dezgheț.

Capitolul se încheie cu o serie de concluzii privind stabilitatea sistemului rutier aferent tronsonului analizat.

Capitolul IV Analiza riscurilor de pe amplasamentul autostrăzii A1, pe tronsonul analizat poate fi considerat de bază pentru rezolvarea temei impuse, deoarece răspunde temei tezei de doctorat.

După câteva considerații teoretice privind definirea și evaluarea riscurilor se trece la evidențierea riscurilor ce pot apărea și de-a lungul tronsonului de autostradă analizat, riscuri asociate cu pagubele materiale și pierderile umane potențiale cauzate de apariția acestor fenomene naturale, cum ar fi alunecările de teren (versanților, taluzurilor etc).

În România nu există până în prezent o metoda de evaluare unică a nivelului de riscuri majore. Estimările care se fac în prezent, sub acest aspect, au la bază analize post accident, respectiv indicii de frecvență și gravitate ai acestor evenimente.

Pe plan mondial, ideea unor diagnoze de securitate în unități industriale este relativ veche, dar nici aici nu s-a ajuns, decât în puține cazuri, la instrumente de lucru operaționale și generalizabile. Diversele procedee și metode elaborate fie au aplicabilitate redusă, fie sunt simpliste, neabordând sistematic toată gama de factori de riscuri majore.

Pentru evaluarea riscurilor de pe amplasamentul autostrăzii A1, pe tronsonul analizat, s-au stabilit caracteristicile generale ale tronsonului și s-au identificat cele mai importante riscuri de care trebuie să se țină seama atât în etapa de proiectare a unui drum, dar și în cea de exploatare a acestuia: riscuri geotehnice; riscuri de rețea/sistem; riscul de depășire a limitelor de buget și timp; riscuri de întreținere; creșterea costurilor; lipsa traficului; lipsa beneficiilor generate de dezvoltarea economică.

În teză, cercetarea a fost dirijată în special pe evaluarea riscurilor geotehnice, cerință impusă de tema lucrării și s-a efectuat conform Normativului NP 074 care introduce trei categorii geotehnice asociate cu riscul geotehnic.

Pentru definirea riscului geotehnic au fost luați în considerare cinci factori: condițiile de teren; apa subterană și de suprafață; clasa de importanță a construcției; vecinătățile și zona seismică, cărora li s-au atribuit puncte funcție de condițiile concrete ale tronsonului analizat, condiții care au fost detaliat prezentate în teză.

Analizând riscurile geotehnice de pe amplasamentul autostrăzii Lugoj-Deva, Lot 2, am stabilit că autostrada se încadrează în **categoria geotehnică 2 cu risc geotehnic moderat** ceea ce demonstrează că **nu există probleme geotehnice grave** pentru tronsonul de autostradă analizat.

În ceea ce privesc *riscurile de rețea/sistem* acestea se referă la construcția altor tronsoane de legătură. Dacă tronsonul de autostradă studiat (Lugoj-Deva) rămâne izolat, nu va fi viabil din punct de vedere economic.

Riscurile de depășire a limitei de buget și de timp pot apare ca urmare a întârzierii achiziției de terenuri, identificării și relocării utilităților etc, dacă se are în vedere că această porțiune a autostrăzii depinde de construirea celorlalte tronsoane, deci întârzierile în achiziții și implementare care ar putea apărea pe celelalte tronsoane se reflectă în mod excepțional asupra tronsonului Lugoj-Deva, Lot 2. De asemenea, procedurile pentru obținerea terenurilor pot fi întârziate considerabil de lipsa unei evidențe clare a proprietarilor fiecărei parcele de pământ, a amplasamentelor fizice precum și a granițelor dintre ele.

Riscul de întreținere poate fi major dacă avem în vedere istoria întreținerii rețelei de drumuri din România, care a demonstrat o alocare inadecvată a resurselor, având drept rezultat faptul că în multe locuri rețeaua de drumuri nu corespunde necesităților traficului.

Din punct de vedere al *costurilor de investiție* au rezultat costuri oarecum mai mari decât cele estimate, dar, dat fiind caracterul complex al terenului, potrivit estimărilor, costurile finale de capital pentru autostrada Lugoj-Deva, Lot 2, s-au încadrat în marja convenită +/- 20%. Se pare că nu există riscuri substanțiale, care ar implica diferențe extraordinare la nivelul costurilor de investiție și care să determine o creștere de peste cei +20%.

Se anticipează că nu va fi o *lipsă de trafic*, el va continua să crească și atâta timp cât nu se estimează, pe termen scurt, introducerea de taxe, nu există nici un motiv pentru a presupune că acest trafic nu va folosi autostrada, acolo unde acesta furnizează nivelul de servicii potrivit. Poate exista, însă, un risc invers, în sensul că autostrada atrage și deviază către ea fluxuri considerabile de trafic.

Acest tronson de autostradă depinde, în mare parte de dezvoltarea economică a zonei de-a lungul lui. Prin urmare, *riscul ar fi ca dezvoltarea economică să aibă un ritm foarte lent*, făcând să fie posibil ca autostrada să nu producă beneficiile anticipate. Cu toate acestea, având în vedere execuția în timp a lucrărilor de drumuri pe această parte a Coridorului IV, riscul este considerat a fi minim.

Capitolul V Soluții de reducere a riscurilor geotehnice de pe amplasamentul tronsonului de autostradă analizat finalizează cerința impusă de tema tezei de doctorat.

În acest capitol se prezintă soluțiile/măsurile de reducere a riscurilor geotehnice de pe amplasamentul tronsonului de autostradă analizat referitoare la *condițiile de teren și apa subterană și de suprafață*. Ca o măsură complementară ce poate contribui la reducerea riscului geotehnic s-au dat o serie de soluții legate și de protecția mediului în arealul aferent tronsonului de autostradă.

În ceea ce privește *îmbunătățirea calității terenului de bază/de fundare* procesul de stabilizare a constat în introducerea și amestecarea unor aditivi (agenți de stabilizare) în pământ, sub formă de pulbere sau sub formă de suspensie, cu scopul principal de a îmbunătăți stabilitatea de volum, rezistența, permeabilitatea și durabilitatea pământului.

Materialele folosite pentru stabilizarea terenului de fundare au fost cimentul și varul, atât ca lianți unici cât și în amestec cu alte materiale cum sunt: cenușa zburătoare, bentonita, silica fume, bitumul, zgura măcinată de furnal etc.

Tehnologiile și procedeele folosite pentru stabilizarea terenurilor de fundare au fost: piloții de mică adâncime, Jet grouting și Compaction grouting, prezentate detaliat în teză.

Soluțiile de îmbunătățire a stabilității structurii de rezistență, de prevenire, combatere și remediere a alunecărilor de teren propuse și detaliat prezentate sunt: geometrice, hidrologice, mecanice, fizice, chimice și biologice.

Referitor la soluțiile de îmbunătățire a calității terenului de bază precum și a stabilității structurii de rezistență se pot concluziona următoarele:

- principalul efect al stabilizării terenului de fundare constă în creșterea rezistenței la forfecare a pământului, ceea ce conduce la obținerea unei capacități portante superioare, respectiv la posibilitatea susținerii unor încărcări mai mari. Pe lângă creșterea rezistenței, procedeul de stabilizare are efecte și asupra permeabilității pământului în sensul micșorării ei, ceea ce înseamnă o stabilizare a variațiilor de volum. Odată cu scăderea permeabilității scade și gradul de compresibilitate al pământului oferind, astfel, o siguranță mai mare construcțiilor amplasate pe astfel de terenuri;

- procedeul de stabilizare s-a ales în funcție de caracteristicile geotehnice ale amplasamentului, de condițiile economice precum și de condițiile de execuție (existența și amplasarea utilajelor de execuție);

- stabilizarea cu ciment este eficientă în cazul pământurilor argiloase și mai puțin eficientă, în cazul pământurilor organice sau a celor cu plasticitate mare. Totuși, în cazul acestora din urmă este posibilă obținerea unor creșteri în rezistență prin adăugarea unei surse suplimentare de calciu, care să ofere un plus de ioni de calciu necesari desfășurării reacției chimice;

- stabilizarea cu var este destul de eficientă mai ales în cazul pământurilor argiloase. În cazul pământurilor granulare sau al celor cu fracțiuni mici de argilă, eficiența metodei este destul de redusă. În general varul este eficient în cazul pământurilor a căror limită de plasticitate este cuprinsă între 10% și 50%;

- acolo unde utilizarea cimentului sau a varului nu conduce la obținerea rezistențelor dorite, aceste materiale pot fi amestecate cu altele pentru obținerea proprietăților dorite. Compoziția agentului de stabilizare se va face numai după cunoașterea caracteristicilor geotehnice inițiale ale pământului;

- în ultimii ani procedeele de stabilizare a terenurilor s-au dezvoltat din ce în ce mai mult, acum fiind posibilă stabilizarea terenurilor până la adâncimi mari (45 m), iar, în condiții speciale, chiar și la adâncimi mai mari. Stabilizarea terenurilor de fundare prin intermediul coloanelor cu agenți de stabilizare are dublu rol, cu efecte asupra îmbunătățirii caracteristicilor geotehnice ale terenului din jur, precum și cu rolul unor piloți de rezistență pentru construcția respectivă.

Ca o concluzie generală, în întregime terenul de fundare al autostrăzii studiate, a fost stabilizat cu diferiți lianți în funcție de descrierea materialului, pentru a obține o capacitate portantă superioară. Din aceleași considerente și o parte din materialul de umplutură folosit în corpul autostrăzii a fost stabilizat pentru obținerea capacității portante necesare.

Am constatat, prin participarea directă la lucrările de execuție a tronsonului analizat, că o mare parte dintre *soluțiile de îmbunătățire a stabilității structurii de rezistență*, prezentate în această teză de doctorat, au fost puse în practică în cadrul tronsonului studiat (berme, banchete, rigole, șanțuri pereate, drenuri, drenuri cu geotextile, linanți hidraulici pentru îmbunătățire, compactarea și structuri din pământ armat cu materiale geosintetice etc.).

Ca *lucrări de asanare, protecție, susținere și consolidare* a corpului de drum s-au propus: straturi anticapilare, drenuri de interceptie, georețele, structuri de sprijin din pământ armat, fundații continue de parapete și rigole ranforsate și lucrări de evacuare a apelor de suprafață (șanțuri, rigole și drenuri).

Soluțiile de reabilitare a mediului propuse vor avea și rolul de stabilizare a structurii de rezistență a autostrăzii. Acestea constau din: plantarea de arbori și arbuști ornamentali de specii și dimensiuni diferite; gazonarea taluzurilor aferente tronsonului; montarea de geogriduri în vederea stabilizării taluzurilor. Fondul vegetal indigen este alcătuit din specii de arbori, arbuști și ierburi. În figurile nr.V.11 – nr.V.13 sunt prezentate soluțiile de amplasare a acestei vegetații pe tronsonul de autostradă.

În vederea evaluării riscului funcțional și planificarea acțiunilor în cazul identificării, în urma inspecțiilor, a deteriorărilor unor structuri ale drumului s-a arătat modul de evidențiere, explicitare și de acțiune pentru remedierea acestora.

În finalul capitolului s-au făcut câteva considerente asupra necesității monitorizării construcției (tronsonului de autostradă) după darea lui în exploatare.

Programul de monitorizare trebuie să țină cont de indicațiile din *SR EN 1997-1- Capitolul 2.7, Metoda observațională* și, de asemenea, să fie întocmit în conformitate cu prevederile *Ordinului 847/2014 – PCU004* fiind realizat de către Antreprenor.

Monitorizarea terasamentului se va realiza prin instalarea următoarelor instrumente: tije extensometrice, reperi/borne metalici(e) pentru măsurătorile topografice de precizie și cuie metalice, poziționate în legătură cu plăcile de racordare ale structurilor/lucrărilor de artă.

Metodele de control prevăzute sunt: control instrumental și topografic, control topografic și control vizual pentru întreg proiectul în vederea identificării eventualelor ondulări/văluriri/refulări ale asfaltului sau deteriorări ce pot apărea și care sunt datorate exclusiv unor eventuale cedări ale terasamentelor prin pierderea capacității portante.

Capitolul se încheie cu o serie de recomandări pentru reducerea riscurilor geotehnice de pe tronsonul de autostradă analizat:

- în toate zonele în care drumul se află în debleu să se realizeze șanțuri de gardă, șanțuri pe bermă, protecții imediate pe taluz prin revegetarea întregii suprafețe a taluzului (realizarea treptelor de înfrățire) și sisteme antierozionale (de exemplu protecții cu geosintetice în zonele slab coezive);
- pentru rambleurile mai înalte de 6,00 m și/sau la cele situate în albiile majore ale râurilor, văilor și bălților, zonele inundabile unde terenul de fundație este alcătuit din particule fine și foarte fine, înclinarea taluzurilor se va determina pe baza unui calcul de stabilitate;
- pentru rambleurile așezate pe terenuri cu capacitate portantă redusă (zone mlăștinoase), se impune:
 - excavarea materialului necorespunzător din fundație și înlocuirea acestuia cu perne de material granular sau piatră spartă (blocaje de piatră spartă) sau/și folosirea materialelor geosintetice;
 - asigurarea unui grad de compactare cât mai ridicat al stratului din fundare;
 - drenarea apelor de suprafață
- în rambleuri nu se folosesc pământuri de consistență scăzută ca: mълuri, nълmолuri, pământuri turboase cu conținut de săruri solubile în apă mai mare de 5%, bulgări de pământ sau pământ cu substanțe putrescibile (brazde, crengi, rădăcini etc.);
- realizarea terasamentelor în rambleu, în care se utilizează pământuri simbol 4d (anorganice) a căror calitate este rea, se recomandă fie înlocuirea, fie stabilizarea lor. Grosimea medie a solului vegetal pe zona rambleurilor este de 0,40 m.

Capitolul VI Cercetări privind realizarea tunelurilor pe Subsecțiunea E2 poate fi considerat o detaliere privind execuția subterană a unui segment din tronsonul de autostradă analizat în teză.

Deoarece această porțiune de autostradă din Lotul 2, subsecțiunea E2, între km 52+880 și km 55+420, traversează o zonă colinară, neregulată, pentru a evita realizarea de debleuri de mari dimensiuni s-a propus traversarea ei cu 3 tuneluri, soluție care ulterior a fost modificată și s-a decis ca în final să se execute doar două tuneluri cu lungimea de aproximativ 2,13 km.

Din multitudinea de probleme legate de executarea unui tunel, în acest capitol sunt cercetate următoarele aspecte: investigațiile geotehnice ale zonelor ce vor fi traversate de tuneluri, analiza stabilității tunelurilor, verificările statice ale susținerii/căptușelii definitive, o posibilă tehnologie de execuție a tunelurilor și, în final, câteva considerații referitoare la monitorizarea execuției tunelurilor.

Pe baza caracteristicilor generale ale zonei, geologiei, geomorfologiei și condițiilor climatice prezentate în capitolul I al tezei, dar cu detalieri și în acest capitol s-a stabilit că zona traversată de tuneluri se încadrează în **categoria geotehnică 3 cu risc geotehnic major**.

Analizele de stabilitate au fost realizate cu programul MEF Plaxis® 2D v.2015 cu care s-au construit modelele de calcul cu elemente finite în deformație plană (2D), în ipoteza comportamentului elasto-plastic a terenului în care de sapă tunelurile, luând în considerare caracteristicile tensiuni-deformații.

Calcululele s-au efectuat la starea limită de exploatare (SLE) și la starea limită ultimă (SLU, grupările 1 și 2) în condiții statice, cât și la starea limită ultimă (SLU) în condiții de seism.

Au fost analizate două secțiuni transversale, reprezentative ale întregului traseu al galeriilor/tunelurilor și anume:

- secțiunea 1, în care grosimea rocilor acoperitoare tunelului este aproximativ egală cu diametrul în săpare al acestuia (16-18 m);
- secțiunea 2, în care grosimea rocilor acoperitoare tunelului este egală cu valoarea maximă care se întâlnește de-a lungul traseului acestuia (35 m).

Calcululele s-au desfășurat, în pași, în 16 faze rezultând schemele de calcul prezentate în tabelul nr. VI.4 pentru secțiunea în care grosimea rocilor acoperitoare tunelului este egală cu valoarea maximă care se întâlnește de-a lungul traseului acestuia (35 m) (secțiunea 2).

Calcululele realizate au permis obținerea întregii evoluții a stării de tensiuni și deformații a complexului tunel (galerie) -teren. A fost posibilă evaluarea întinderii zonelor plastice din jurul săpăturii și ordinul de mărime al deplasărilor pe perimetrul galeriei. S-au obținut, totodată, stările de solicitare în precăptușeala și căptușeala definitivă în diferite faze de execuție.

Astfel, s-au putut evalua prin modelare numerică cu elemente finite, pentru cele două secțiuni reprezentative ale traseului tunelurilor, următoarele caracteristici geomecanice care afectează pe termen lung structura de rezistență a acestora: deplasările/deformațiile totale (analize SLE); tensiunile de forfecare relative τ/τ_{\max} (analize SLE și SLU- gruparea 2); momentele încovoietoare în susținerea/căptușeala definitivă (analize SLE, SLU- gruparea 2 și SLU cu seism).

Distribuțiile caracteristicilor geomecanice analizate (SLE și SLU) pentru secțiunea 1, fazele 15 și 16 sunt reprezentate în figurile VI.3-VI.8, iar în figurile VI.9-VI.14 distribuțiile acelorasi fenomene pentru secțiunea 2, fazele 15 și 16.

Verificări statice ale susținerii/căptușelii definitive s-au făcut în cele două secțiuni caracteristice traseului unei galerii/tunel (1 și 2) și în funcție de starea limită de referință (SLU și SLE). La baza alegerii dimensiunii susținerii/căptușelii a stat Normativul cu indicativul NP112-2014.

În tabelele nr.VI.5 și VI.6 sunt date sintetic rezultatele calcululelor de verificare a stabilității susținerii/căptușelii definitive a tunelurilor ținând cont de valorile caracteristicilor geomecanice stabilite cu ajutorul programului MEF (Plaxis® 2D v.2015), rezultate care au fost parțial prezentate în paragrafele anterioare.

Având în vedere valorile coeficienților de siguranță determinați pentru cele două elemente de calcul (radier și calotă) se poate trage concluzia că dimensiunile alese pentru susținerea/căptușeala definitive a tunelurilor sunt satisfăcătoare pentru stabilitatea construcției în ansamblu ei.

Analizele efectuate pentru a stabili comportamentul masivului de roci/pământuri în timpul săpării galeriei/tunelului și a identifica eventualele intervenții în vederea stabilizării excavației și oprirea deformațiilor în limite acceptabile au arătat că fronturile sunt instabile în absența consolidărilor, ceea ce se impune realizarea unei susținerii/căptușeli imediat în urma frontului de înaintare.

Pentru realizarea fiecărui tunel, se prevede împărțirea pe lungime a acestuia în două tronsoane diferite, fiecare caracterizat de mici diferențe legate de tehnologia de execuție.

Pentru fiecare dintre acestea, lucrările ce se vor executa, la stadiul cunoașterii actuale a stabilității terenului, sunt următoarele:

- Pentru secțiunea de intrare și următorii 20 m: micropiloți din exterior; consolidarea frontului cu elemente din VTR (tuburi clasice); excavarea rocilor din secțiunea tunelului; susținerea provizorie/precăptușeala constituită din torcret cu plasă sudată și centuri metalice (profile dublu T); realizarea arcului răsturnat/radierului pe tronsonul deja excavat al tunelului; realizare (în funcție de necesități) ancore radiale; realizare tuburi drenante radiale și collector; impermeabilizare cu membrană din PVC protejată deasupra și dedesubt de geotextil de greutate minimă 400 g/m² cuplat cu membrane PVC de grosime ≥ 2 mm; susținerea definitivă/căptușeala definitivă din beton armat pe întreaga secțiune.

- Pentru secțiunea curentă sunt valabile aceleași etape prezentate mai sus, cu următoarele modificări: nu există micropiloții; susținerea definitivă/căptușeala definitivă poate fi armată doar la arcul răsturnat/radier nu și în calotă. În plus, se poate considera o procedură suplimentară, și anume dispunerea radială a unor ancore pe secțiunea transversală a tunelului.

Tehnologia de execuție a tunelurilor prezentată în acest capitol este cea propusă și în Proiectul tehnic, dar în prezent tronsonul cu tuneluri E2 este din nou licitat, așa că este posibil ca noul proiectant să propună o altă tehnologie de executare a tunelurilor, cum ar fi cea cu forarea terenului pe întreaga secțiune a tunelului.

Cercetările geotehnice efectuate și prezentate în teză rămân de bază și pot fi folosite la orice variantă tehnologică aleasă.

Realizarea unei galerii este întotdeauna însoțită de schimbarea stării de efort-deformație a terenului din jurul acesteia, care conduce la solicitări active pe susținerea galeriei (căptușeala tunelului, în cazul nostru) și pe structurile de etanșare, solicitări care pot depinde de mulți factori a căror influență nu poate fi prevăzută cu precizie în faza de proiectare.

De aceea este indispensabilă predispunerea unei rețele de instrumentație, în timpul execuției lucrării, prin care să se controleze permanent comportamentul deformativ al terenurilor și evoluția

acestui. Pe baza măsurătorilor se pot evidenția, cu anticipație, eventuale anomalii sau situații de potențial pericol care impun intervenții de completare, adică adoptarea de metodologii de execuție diferite de cele normal folosite.

Monitorizare constă în: controlul stării de tensiuni-deformații ale terenului în interiorul excavațiilor; verificarea siguranței excavațiilor în cursul construcției structurilor; furnizarea de date despre tehnologiile de execuție adoptate; evaluarea răspunsului de comportament efectiv al masivului la ipotezele de calcul aplicate.

Parametrii care se impun a fi monitorizați sunt: distribuția deformațiilor în teren; deplasări ale pereților excavație (convergența) și ale frontului de înaintare (extruziunea); presiuni de interacțiune teren-precăptușeală; solicitări în căptușeli (susțineri).

Capitolul VII Concluzii generale și contribuții personale realizează o sinteză a întregului meu demers pentru a rezolva tema dată și se încheie cu o prezentare punctuală a contribuțiilor personale la cercetarea efectuată pentru a răspunde dezideratului asumat.

Având în vedere implicarea mea directă la executarea tronsonului de autostradă, Lot 2, Lugoj-Deva, consider că principalele contribuții pe care le-am adus la rezolvarea temei tezei de doctorat pot fi rezumate în cele ce urmează:

- studierea și analizarea condițiilor de amplasament (geografice, geomorfologice, climatice, biodiversității, așezărilor umane în vecinătate și stadiul actual al lucrărilor) ale tronsonului autostrăzii A1, Lot 2;
- centralizarea materialelor întâlnite în foraje și delimitarea orizonturilor depozitelor aluvionare;
- realizarea, verificarea și centralizarea tuturor testelor fizice și mecanice făcute înainte și în timpul perioadei de execuție a acestui tronson;
- verificarea calității materialelor puse în operă cât și a calității execuției;
- determinarea în laborator și *in situ* a caracteristicilor geotehnice ale materialelor care stau la baza fundației autostrăzii și a condițiilor de deformabilitate ale terenului natural de-a lungul tronsonului cu identificarea tuturor rocilor întâlnite după decopertarea tronsonului studiat;
- determinarea în laborator a caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor utilizate la construcția autostrăzii (terasamente) pe tronsonul luat în studiu;
- determinarea stabilității tronsonului de autostradă analizat utilizându-se programul SLOPE/W - versiunea 2007;
- dimensionarea structurii rutiere aferentă tronsonului analizat;
- analiza riscurilor, în general, cele geotehnice în detaliu ce pot apărea pe tronsonul analizat cu încadrarea acestui tronson în categoria geotehnică 2 cu risc geotehnic moderat;
- stabilirea și detalierea unor soluții de reducere a riscurilor geotehnice de pe amplasamentul tronsonului de autostradă analizat;
- stabilirea caracteristicilor geotehnice ale zonelor ce vor fi traversate de tuneluri și stabilitatea lor;
- propunerea unei posibile tehnologii de execuție a tunelurilor pe Subsecțiunea E2.