

D					
C					
B					
A					
Index Index	Data Date	Modificare Modification/Revision	Proiectant Designer	Aprobat Consultant Approved Consultant	Aprobat CFR Approved CFR



**GUVERNUL ROMANIEI**  
**ROMANIAN GOVERNMENT**

**PROIECT FINANȚAT DE UNIUNEA EUROPEANĂ**  
**EUROPEAN UNION FINANCED PROJECT**



**C.N.C.F. "C.F.R." - S.A.**

**CLIENT / CLIENT**



**CONSULTANT / CONSULTANT**

			Data Date	Semnătură Signature
Aprobat Approved	Şef proiect Project manager	R. Liuzza		
Aprobat Approved	Coordonator Secțiune 1 Section 1 Coordinator	C.Gambelli		
Verificat Checked	Tunel Expert Tunnel Expert	C. Gambelli		
Întocmit Elaborated	Proiectant Designer	C.Gambelli		

**SUBCONSULTANT / SUBCONSULTANT**

Aprobat Approved	Responsabil Subconsultant Subconsultant Responsible			
Întocmit Elaborated	Proiectant Designer			

Reabilitarea liniei de cale ferata Braşov - Simeria, parte componentă a coridorului IV Pan European, pentru circulația trenurilor cu viteză maximă de 160 km/h.  
Secțiune 1 Brasov - Sighisoara

**Proiect/Project**  
2004/RO/16/P/PA/003

Rehabilitation of the railway line Braşov - Simeria, component Part of the IV Pan-European Corridor, for the trains circulation with maximum speed of 160 km/h.  
Section 1 Brasov - Sighisoara

**Faza / Phase:**  
P.Th. / T.D.

Denumire desen / Drawing Title :

**HOMOROD TUNEL - HOMOROD TUNELUL**  
Racos side - General report of provisional and definitive entrance zones structures  
Zona inspre Racos- Raportul general intrarea provizorii și definitive

Codificare / Codification System	Scara / Scale	LOT	Nr. / No -
----------------------------------	---------------	-----	---------------

**E A 5 1   0 1   C   1 2   T R   G A   0 3   0   0   0 0 1   0**

## Cuprins

1	INTRODUCERE .....	3
2	Descrierea structurilor provizorii pentru intrarea tunelului.....	4
2.1	Șarpanta de pornire.....	4
2.2	Rezistența materialelor.....	5
2.2.1	Consolidări .....	5
2.2.2	Beton.....	6
2.3	Criteriile de proiectare .....	6
2.3.1	Stări limită finale .....	6
2.3.2	Stările limită de serviciu .....	7
2.3.3	Metoda de calcul .....	7
2.4	Cazurile analizate și rezultatele .....	9
2.4.1	Secțiuni reprezentative .....	9
2.4.2	Proiectarea elementelor de ancorare.....	10
3	CRITERIILE DE PROIECTARE ȘI ANALIZA STRUCTURILOR PERMANENTE .....	10
3.1	Cazurile de solicitare .....	11
3.1.1	Solicitări verticale.....	11
3.1.2	Solicitări orizontale.....	11
3.1.3	Solicitări aferente traficului.....	11
3.1.4	Solicitări seismice .....	12
3.1.5	Presiuni seismice la nivelul pământului (Mononobe–Okabe) .....	12
3.2	Rezultatele analizei .....	13

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

## 1 INTRODUCERE

În acest raport ne referim la problemele de proiectare cu privire la lucrările de construcții civile aferente intrării pentru partea dinspre Racos a Tunelului Homorod de-a lungul aliniamentului liniei de cale ferată Brașov – Simeria (Tronsonul 1 Brașov – Sighișoara) care face parte din rețeaua feroviară a Coridorului IV Pan European.

Tunelul respectiv este un tunel cu șină dublă alcătuit din două tuburi distincte situate la o distanță de aproximativ 30 m . Cele două zone de intrare diferite sunt alcătuite pentru fiecare tub din elemente artificiale cu bolți de intrare în formă de „cioc de flaut” (“flute beak”).

Tunelul Homorod constă în următoarele lucrări de construcții civile (structuri permanente):

	PARTEA DINSPRE RACOS		TUNEL NATURAL		PARTEA DINSPRE HOMOROD	
	CIOC DE FLAUT	TUNEL ARTIFICIAL			TUNEL ARTIFICIAL	CIOC DE FLAUT
	pk	pk	de la pk	la pk	pk	pk
HOMOROD ȘINA 1	226.538,99	226.553,99	226.663,58	231.639,61	231.677,5	231.692,50
HOMOROD ȘINA 2	226.522,28	226.537,28	226.616,87	231.585,47	231.642,47	231.657,47

	PARTEA DINSPRE RACOS		TUNEL NATURAL		PARTEA DINSPRE HOMOROD	
	CIOC DE FLAUT	TUNEL ARTIFICIAL			TUNEL ARTIFICIAL	CIOC DE FLAUT
	L (m)	L (m)	L (m)		L (m)	L (m)
HOMOROD ȘINA 1	15,00	104,59	4.976,03		32,89	15,00
HOMOROD ȘINA 2	15,00	74,60	4.968,60		51,85	15,00

Pământul este excavat până la adâncimea necesară și sunt prevăzuți pereți de susținere ancorați care susțin solul în părțile laterale. Pereții de susținere sunt alcătuiți din grupuri de piloți din beton armat iar elementele de ancorare sunt cu 4 niveluri (adâncimea maximă) și sunt dispozitive de ancorare cimentate.

În următoarele secțiuni ale prezentului document, sunt definiți parametrii geotehnici ai proiectului și apoi este prezentată analiza pentru verificarea corectitudinii proiectului static pentru structurile provizorii și pentru structurile permanente.

## **2 Descrierea structurilor provizorii pentru intrarea tunelului**

Pământul este excavat până la adâncimea necesară și sunt prevăzuți pereți de susținere și elemente de ancorare care susțin solul în părțile laterale. Pereții de susținere sunt alcătuiți din grupuri de piloți tubulari din beton armat cu diametrul de 1200 mm și cu lungimea de 15 m până la 28 m. Distanța dintre piloți este de 1.3 m. Piloții sunt conectați la capăt cu ajutorul unei borduri din beton armat cu dimensiunile: 1.1 x 1.5 m.

Elementele de ancorare sunt alcătuite din găuri executate cu burghiul cu tendoane cimentate precomprimate din oțel care se întind de la partea din față a peretelui până în zona de ancorare situată în spatele planurilor potențiale de rupere în solul susținut. Vor fi prevăzute mai multe niveluri de ancorare în funcție de adâncimea de excavare și de parametrii geotehnici ai solului. Distanța transversală între elementele de ancorare este de 1.3 m și acestea sunt prevăzute la diverse niveluri cu grinzi din beton armat cu dimensiunile: 60 x 70 cm.

Sunt montate conducte sub-orizontale de scurgere de-a lungul pereților de susținere pentru disiparea presiunilor hidraulice.

Etapele de construcție a pereților de susținere sunt următoarele:

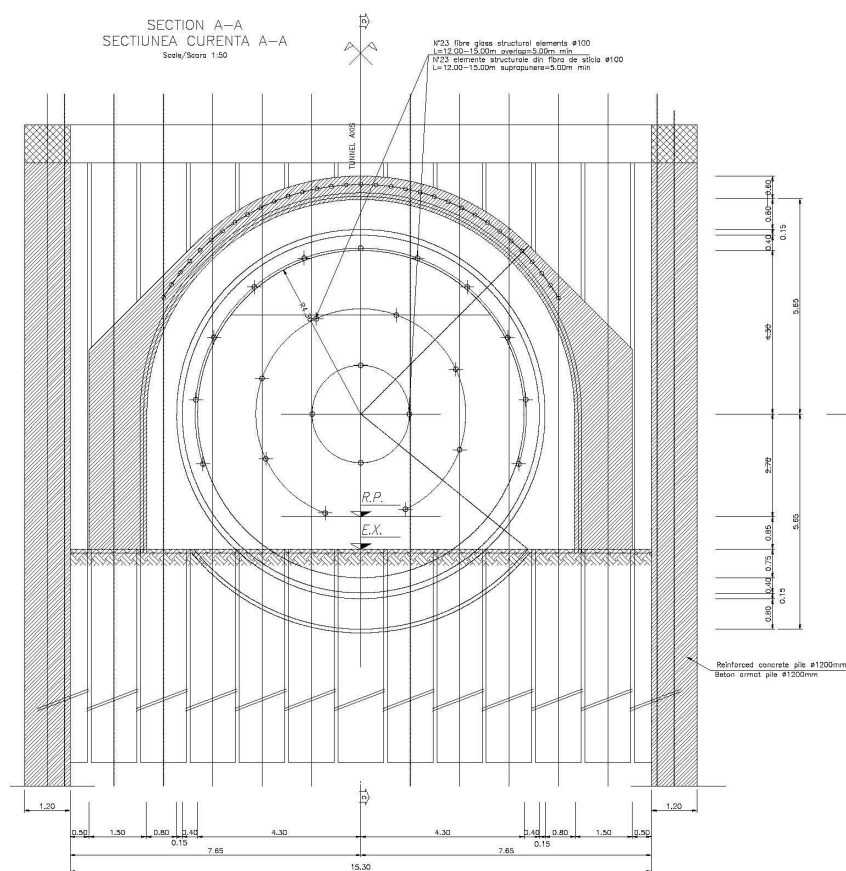
1. Executarea piloților tubulari din beton în ambele părți ale viitorului tunel artificial;
2. Răzuirea piloților de capăt
3. Realizarea grinzii de acoperire din beton armat la capătul piloților;
4. Amplasarea tendoanelor de nivel și realizarea grinzii de capăt din beton
5. Excavarea până la nivelul elementelor de ancorare;
6. Poziționarea tendoanelor de nivel și realizarea grinzii de susținere din beton armat;
7. Dacă este necesar, a se repeta etapele 4 și 5;
8. Excavarea până la adâncimea finală;
9. Excavarea și construirea boltei inverse a tunelului pentru tunelul artificial;
10. Construirea boltei tunelului și a pilonilor tunelului pentru tunelul artificial.

### **2.1 Șarpanta de pornire**

Șarpanta de pornire pe o lungime de 5.0 m (șina 1: de la km. 226+663 la km. 226+658; șina 2: de la km. 226+616 până la km. 226+611) este alcătuită din lonjeroane din oțel incorporate în căptușeala din beton așa cum se arată în figura de mai jos. Solul de pe

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

boltă a necesitat o consolidare cu 33 de palplanșe din oțel cimentate cu amestecuri de ciment, profilul  $\phi=127$  mm grosimea 10 mm oțel S355H, găuri cu  $\phi=160$  mm,  $L=12.0$  m, suprapunerea  $\geq 4.00$  m Materialul de la partea din față a excavării este consolidat cu elemente structurale din fibră de sticlă N23  $\phi 100$  L=12.00-15.00m suprapunerea = 5.00m min



## 2.2 Rezistența materialelor

Proprietățile de rezistență incluse în proiect referitoare la materialele structurale sunt prezentate rezumativ mai jos.

### 2.2.1 Consolidări

- Oțel pentru armare: *B450C controlat prin fixare*  
 $f_{u_{nom}} = 540$  MPa  
 $f_{y_{nom}} = 450$  MPa

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

---

- Oțel structural: **S 355**  
 $f_{u_{nom}} = 510 \text{ MPa}$   
 $f_{y_{nom}} = 355 \text{ MPa}$
- Fire de sârmă pentru ancorare:  
Rezistența caracteristică la rupere prin întindere  $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$   
Rezistența de curgere la o elongație de 0.1 %  $f_{p1k} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$

## 2.2.2 Beton

- Tunelul artificial și bolta intrării în tunel: *Clasa de Rezistență C30/37*
- Piloți și bordură: *Clasa de Rezistență C25/30*

## 2.3 Criteriile de proiectare

Proiectarea structurilor se face atât pentru stările limită finale (ULS) cât și pentru stările limită de serviciu (SLS). Așa cum se prezintă rezumativ în Eurocoduri

### 2.3.1 Stări limită finale

Sunt luate în considerare următoarele stări limită finale

ULS – tip STR:

- Ruperea unui element structural cum ar fi pereții, elementele de ancorare, grinzi de abataj sau traversă sau ruperea racordurilor între elementele respective;

ULS – tipurile GEO, UPL și HYD:

- rupere prin rotirea sau translatarea peretelui sau a unor părți ale acestuia;
- rupere din cauza lipsei echilibrului vertical;
- rupere din cauza deplasării hidraulice și a conductelor;
- pierderea stabilității generale;
- rupere combinată la nivelul solului și la nivelul elementului structural.

Atunci când se consideră o stare limită de rupere sau o deformare excesivă a elementului structural sau a secțiunii de la nivelul solului (STR și GEO), se verifică dacă:

$$Ed \leq Rd$$

*Varianta de Proiectare 1*

Analiza ULS – STR se face cu următoarea combinație de seturi de factori parțiali:

### Combinăția 1: A1 + M1 + R1.

Analiza ULS – GEO se face cu următoarea combinație de seturi de factori parțiali:

### Combinăția 2: A2 + M2 + R1

Pentru verificarea stărilor limită structurale (STR) și geotehnice (GEO) în tabelele următoare sunt prezentate în mod rezumativ factorii parțiali recomandați conform Eurocod 7 și factorii de corelare.

#### 2.3.2 Stările limită de serviciu

Sunt luate în considerare următoarele stări limită:

##### SLS:

- deplasarea structurii de susținere, care poate cauza prăbușirea sau care poate afecta aspectul sau utilizarea eficientă a structurii respective.

De asemenea, verificarea stărilor limită de serviciu impune verificarea faptului că:

$$Ed \leq Rd$$

Valorile factorilor parțiali pentru SLS sunt egale cu 1.0 atât pentru acțiuni cât și pentru parametrii solului, așa cum este recomandat în Eurocod 7 și așa cum se prezintă în mod rezumativ în tabelul următor.

#### 2.3.3 Metoda de calcul

Analiza structurilor de susținere se face cu ajutorul programului PARATIE versiunea 7.0 (CEAS Srl). Programul utilizează pentru sol un comportament elastic – plastic și poate urmări întregul proces de construcție. În tabelul următor sunt prezentate rezumativ etapele de calcul pentru modelarea pereților de susținere:

Etapile de calcul pentru pereții de susținere	
Etapa	Descrierea
1	Starea inițială geostatică
2	Construirea peretelui aferent grupului de piloți
3	Excavarea până la primul nivel al elementelor de ancorare
4	Instalarea elementelor de ancorare de nivelul întâi cu forța inițială egală cu 150 kN
5	Excavarea până la al doilea nivel al elementelor de ancorare
6	Instalarea elementelor de ancorare de nivelul al doilea cu forța inițială egală cu 150 kN
7	Excavarea până la nivelul al treilea al elementelor de ancorare

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

---

8	Instalarea elementelor de ancorare de nivelul al treilea cu forța inițială egală cu 300 kN
7	Excavarea până la nivelul al patrulea al elementelor de ancorare
8	Instalarea elementelor de ancorare de nivelul al patrulea cu forța inițială egală cu 300 kN



REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

## 2.4 Cazurile analizate și rezultatele

### 2.4.1 Secțiuni reprezentative

Analiza pereților de susținere se face pentru 3 secțiuni reprezentative:

Secțiunea 1: Secțiunea aferentă înălțimii maxime de excavare, km. 226+617;

Secțiunea 2: Secțiunea la km. 226+587;

Secțiunea 3: Secțiunea la km. 226+606

În această secțiune sunt prezentate rezultatele privind armătura din oțel după verificarea grupurilor de piloți. Toate verificările structurale se fac cu ajutorul Combinației ULS – STR și USL GEO.

Peretele aferent grupului de piloți din beton – Caracteristicile piloților

Lungimea	Diametrul	Distanța	Consolidările împotriva Momentului axial și momentului încovoietor	Consolidările împotriva Forței de forfecare
m	m	m	n.	n.
28	1.2	1.3	35 $\phi$ 26	Spirală $\phi$ 14/20 cm
25	1.2	1.3	30 $\phi$ 26	Spirală $\phi$ 12/20 cm
22	1.2	1.3	26 $\phi$ 20	Spirală $\phi$ 12/20 cm
17	1.2	1.3	20 $\phi$ 16	Spirală $\phi$ 12/20 cm
15	1.2	1.3	20 $\phi$ 14	Spirală $\phi$ 12/20 cm

Caracteristicile bordurilor din beton

b	h	Nivelul	Consolidările împotriva Momentului axial și momentului încovoietor	Consolidările împotriva Forței de forfecare
m	m	m	n.	n.
1.5	1.1	-0.5	11 + 11 $\phi$ 26	1 $\phi$ 12/20 cm
0.6	0.7	-4	4 + 4 $\phi$ 26	1 $\phi$ 12/20 cm
0.6	0.7	-8	4 + 4 $\phi$ 26	1 $\phi$ 12/20 cm
0.6	0.7	-12	4 + 4 $\phi$ 26	1 $\phi$ 12/20 cm

## 2.4.2 Proiectarea elementelor de ancorare

În lucrarea de față, pentru a stabili o metodă de proiectare pentru fundația Elementelor de ancorare, a fost luată în considerare metoda propusă de Bustamante și Doix (1985).

Rezistența laterală  $S$  se determină cu ajutorul formulei:

$$S = \pi \cdot ds \cdot Ls \cdot s$$

În tabelul de mai jos sunt prezentate în mod rezumativ caracteristicile pereților de susținere aferenți elementelor de ancorare:

Parametrul	Simbol	U.m.	Nivelul IV	Nivelul III	Nivelul II	Nivelul I
			-12 m	-8 m	-4 m	-0,5 m
Rezistența caracteristică de rupere la întindere	f <sub>ptk</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1860	1860	1860	1860
Rezistența de curgere la o elongație de 0.1 %	f <sub>p1k</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1670	1670	1670	1670
Numărul de fire de sârmă	n	-	6	6	6	6
Zona cu un singur fir de sârmă	A <sub>t</sub>	mm <sup>2</sup>	140	140	140	140
Unghiul	θ	°	22,5	22,5	22,5	22,5
Lungimea zonei injectate	L <sub>ck</sub>	m	9,3	10,8	6,7	4,8
Lungimea liberă	L <sub>f</sub>	m	9	10,8	13,0	14,9
Lungimea totală a elementului de ancorare	L <sub>t</sub>	m	18,0	21,6	19,7	19,7
Solicitarea inițială a elementului de ancorare	T <sub>i</sub>	KN	390,0	390,0	195,0	195,0
Rezistența caracteristică de rupere la întindere	R <sub>k</sub>	kN	1562	1562	1562	1562
Rezistența finală de rupere la întindere	R <sub>d</sub>	kN	1420	1420	1420	1420

## 3 CRITERIILE DE PROIECTARE ȘI ANALIZA STRUCTURILOR PERMANENTE

Tunelul artificial a fost verificat în secțiunea cu solul maxim de acoperire. Rezultatele acestei analize au fost apoi extinse la bolta de la intrarea în tunel.

Calcululele au fost efectuate cu ajutorul programului FEM versiunea Neliniară SAP 2000 14.2, distribuită de firma „Computers and Structures, Inc.” Iar verificările au fost realizate pentru ULS și SLS. În secțiunea tip reprezentativă există solicitări verticale uniforme și solicitări orizontale simetrice, toate aceste sarcini fiind definite ca permanente în

conformitate cu Eurocodurile. Comportarea mecanică a solului este reprezentată cu ajutorul suportilor radiali, activi numai la comprimare.

### **3.1 Cazurile de solicitare**

#### **3.1.1 Solicitări verticale**

Solicitățile verticale considerate în analize sunt:

- Greutatea proprie a căptușelii;
- Solul de acoperire.

#### **3.1.2 Solicitări orizontale**

Solicitățile orizontale  $P_h$ , care acționează pe termen lung și variază în funcție de adâncimi, sunt estimate după cum urmează:

$$P_h = K P_v + K \gamma z$$

Dacă tunelul este afectat de un strat de apă, trebuie să se țină seama de presiunea hidrostatică, care evaluează presiunile efective la nivelul solului, în plus față de presiunea hidrostatică.

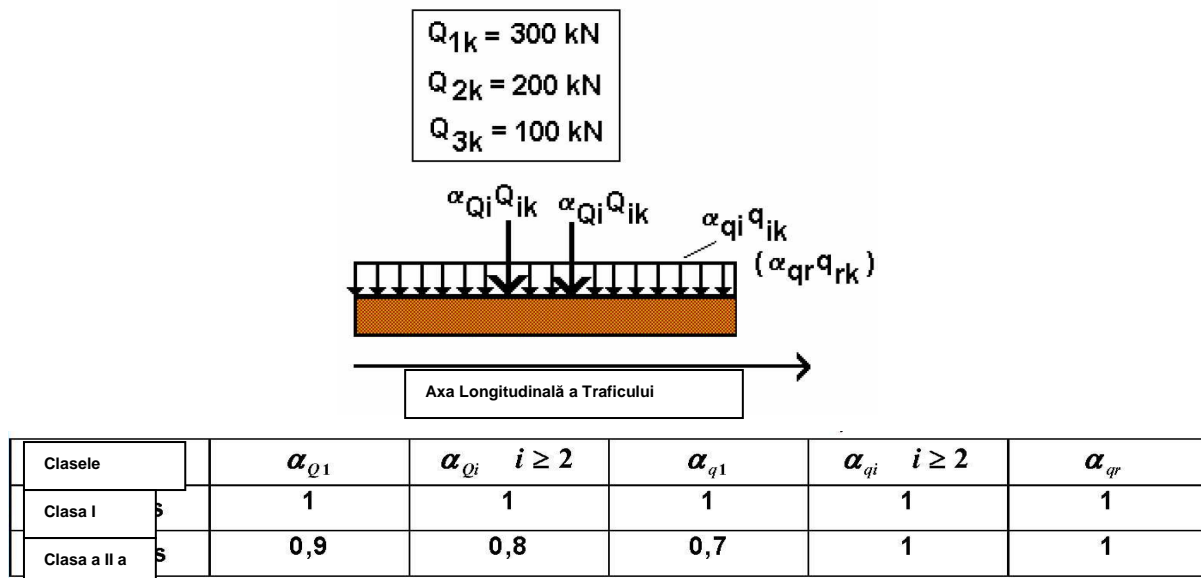
#### **3.1.3 Solicitări aferente traficului**

Solicitățile caracteristice servesc la determinarea efectelor traficului rutier asociate cu verificările stărilor limită finale și cu verificările funcționării în situații speciale.

Modelele de solicitare pentru solicitările verticale conduc la următoarele efecte ale traficului:

- Modelul de Solicitare 1 (LM1): Solicitări concentrate și uniform distribuite, care se referă la majoritatea efectelor traficului aferent camioanelor și autoturismelor. Acest model trebuie să fie utilizat pentru verificări generale și locale

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.



### 3.1.4 Solicitări seismice

Efectele seismice asupra căptușelii tunelului artificial sunt luate în calcul prin analiza statică echivalentă: valorile presiunilor statice orizontale și verticale au fost majorate în conformitate cu UNI 1998-1 folosind parametrii derivați din aplicarea reglementărilor locale aferente proiectului “Cod De Proiectare Seismică P100-1”:

- $ag = 0.16g$
- gradul solului C
- $S = 1.50$ ;  $ST = 1.0$
- Coeficientul seismic orizontal (kh) este  
 $kh = S \times ST \times ag / g = 1.50 \times 1.0 \times 0.16 = 0.24$

Aceste solicitări se aplică într-o direcție sau în altă direcție în funcție de situație dacă este necesară o structură suplimentară.

### 3.1.5 Presiuni seismice la nivelul pământului (Mononobe–Okabe)

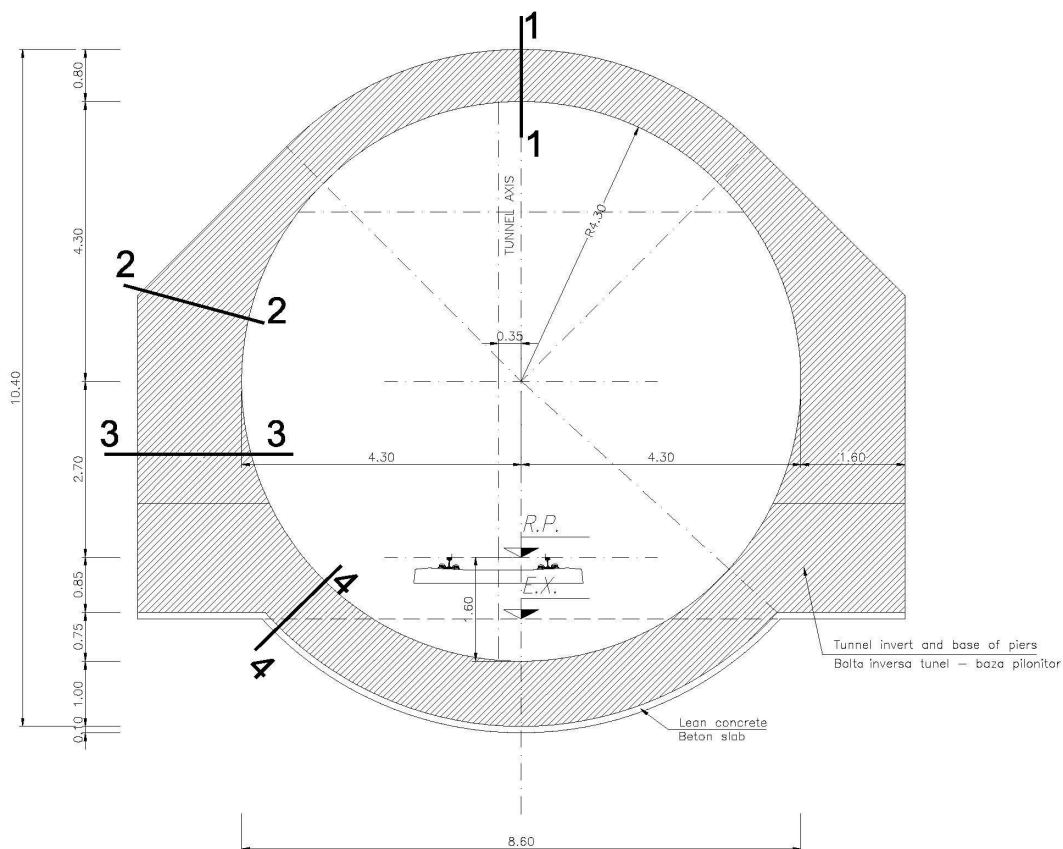
S-a utilizat o extindere a metodei lui Coulomb în cazul static pentru determinarea presiunilor la nivelul pământului prin considerarea echilibrului faliei triunghiulare de rupere. Metoda respectivă este cunoscută în mod obișnuit sub denumirea de metoda Mononobe–Okabe. În acest caz, pentru a calcula presiunea activă și presiunea pasivă la nivelul pământului prin folosirea forțelor pseudo-statice așa cum sunt forțele seismice care

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

acționează asupra solului aferent rambleului lipsit de coeziune, în cadrul analizei a fost luată în considerare suprafața plană de rupere. Presiunea seismică activă și pasivă la nivelul pământului (Pae, Ppe) se poate calcula cu ecuația Mononobe–Okabe

### 3.2 Rezultatele analizei

A fost realizat un model cu elemente finite pentru determinarea momentului încovoietor, a momentului axial și a forței de forfecare care acționează în diversele secțiuni ale cazului de studiu. Modelul respectiv a fost creat în funcție de geometria secțiunii cu elemente tip grindă. Rezultatele analizei cu elemente finite sunt prezentate pentru fiecare stare limită considerată (stare limită finală, seismică și de serviciu). Rezultatele se referă la cazul solicitării de contur care limitează forța și momentul. Verificările sunt efectuate în secțiunile indicate în figura de mai jos.



Secțiunea	b	h	Consolidările împotriva	Consolidările împotriva
-----------	---	---	-------------------------	-------------------------

REABILITAREA LINIEI DE CALE FERATĂ BRAȘOV – SIMERIA, PARTE COMPONENTĂ A CORIDORULUI IV PAN-EUROPEAN PENTRU CIRCULAȚIA TRENURILOR CU VITEZA MAXIMĂ DE 160 KM/H.

			Momentului axial și încovoietor	Forței de forfecare (scărițe cu două brațe)
	m	m	n.	n.
1	100	80	5 + 5 $\phi$ 26	1 $\phi$ 14/25 cm
2	100	160	8 + 8 $\phi$ 26	1 $\phi$ 16/25 cm
3	100	160	8 + 8 $\phi$ 26	Nu este necesară nici o consolidare împotriva forței de forfecare
4	100	100	5 + 5 $\phi$ 26	1 $\phi$ 14/25 cm