

GHID PENTRU PROIECTAREA LUCRĂRILOR CE ÎNGLOBEAZĂ MATERIALE GEOSINTETICE

Indicativ P 134-95

1. PREVEDERI GENERALE

1.1. Prezentul ghid se referă la structurile și amenajările din pământ și alte materiale locale, din domeniul construcțiilor civile, industriale, hidrotehnice, de transporturi, de îmbunătățiri funciare și de protecție a mediului înconjurător, în a căror alcătuire intră materiale geosintetice.

1.2. În accepțiunea prezentului ghid, materialele geosintetice (geotextile, geomembrane, geogriile și produse înrudite) sunt definite conform prevederilor din „Normele tehnice privind utilizarea geotextilelor și geomembranelor la lucrările de construcții” - indicativ C 227-88. În aceleași norme sunt enunțate principalele funcții, criteriile de selectare a tipurilor adecvate de geosintetice în raport cu caracterul și obiectivele lucrărilor, precum și principiile referitoare la recepția și punerea în operă a acestor materiale. Se precizează că unele simboluri și notații din acest ghid diferă față de cele din normele amintite.

1.3. Având în vedere normele citate, prezentul ghid furnizează metode de proiectare și calcul al lucrărilor în care se utilizează materiale geosintetice, ținând seama de funcțiile ce revin acestor materiale și de solicitările la care sunt supuse în cursul exploatării.

[\[top\]](#)

2. RELAȚII ÎNTRE CARACTERISTICILE ȘI FUNCȚIUNILE MATERIALELOR GEOSINTETICE

În raport cu funcțiile atribuite materialelor geosintetice în alcătuirea structurilor și amenajărilor aceste materiale trebuie să posede anumite caracteristici fizice și mecanice, astfel cum rezultă din tabelul 2.1. Pentru aceste caracteristici se stabilesc, după caz, performanțe de calitate corespunzătoare:

Tabelul 2.1

Caracteristici Funcții	Rezistența la tracțiune	Rigiditatea	Frecarea pământ/ geosintetic	Porometria	Permitivitatea	Transmivitatea
Filtrare				*	*	
Drenare					*	*
Separare	*				*	
Armare	*	*	*			

Etanșare	*				*	
----------	---	--	--	--	---	--

2.1. *Rezistența la tracțiune*, R_T , (kN/m) se determină prin încercări pe evpruvete de 100 mm lungime și 500 mm lățime, folosindu-se o presă ale cărei cleme de prindere nu permit nici alunecarea, nici forfecarea materialului testat. Viteza de deformare este de 50 mm/minut.

Rezistența la tracțiune poate fi determinată conform indicațiilor din anexa I la Normele tehnice C 227-88.

2.2. *Rigiditatea* J , (kN/m), se calculează cu relația $J = T/\varepsilon^*$, în care T este forța de tracțiune pe metru liniar. Rigiditatea se determină în cursul încercării la tracțiune, în care se măsoară în permanență deformația specifică longitudinală (alungirea) ε_1 și deformația specifică transversală (stricțiunea) ε_2 (fig. 2.1). Valoarea deformației specifice reale (sau deformației plane echivalente) ε^* este dată de relația:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_1\varepsilon_2$$

Întrucât relația $T = f(\varepsilon)$ nu este liniară, se pot lua în considerare diverse valori ale rigidității (Fig. 2.2) și anume:

J_1 = rigiditatea tangențială inițială;

J_2 = rigiditatea secantă pentru o alungire dată (de ex. 20% din cea de rupere);

J_3 = rigiditatea tangențială pentru o alungire dată (de ex. 20% din cea de rupere);

J_4 = rigiditatea secantă la deformația specifică de rupere.

2.3. *Frecarea* f între pământ și materialul geosintetic se determină într-o semi-casetă de forfecare directă, modificată corespunzător (Fig. 2.3) având dimensiunile în plan 100 x 100 mm. Pentru încercările de identificare a materialului geosintetic se poate utiliza un pământ normalizat (nisip monogranular de 1 mm), iar pentru proiectare se recurge la pământul avut în vedere în lucrare.

2.4. *Dimensiunile porilor* O_n se determină prin porometrie, încercarea putând fi efectuată conform indicațiilor din anexa I la Normele tehnice C 277-88. Se admite ca valoare caracteristică dimensiunea O_{95} (mm μ m) corespunzătoare ordinatei de 95% pe curba porometrică.

2.5. *Permitivitatea* ψ , (s^{-1}), ca expresie a permeabilității materialului geosintetic pe direcția normală pe planul acestuia se determină stabilind valoarea coeficientului de permeabilitate pe direcție normală k_n (cm/s) în permeamtru, pentru o anumită grosime a materialului H_g (cm), folosind apa dezaerată și respectând condițiile de valabilitate a legii Darcy.

2.6. *Transmisivitatea* Θ (cm^2/s), ca expresie a permeabilității materialului geosintetic în planul acestuia, se determină stabilind valoarea coeficientului de permeabilitate în plan k_p (cm/s) în permeamtru, pentru o anumită grosime a materialului H_g (cm), folosind apa dezaerată și respectând condițiile de valabilitate a legii Darcy.

Pentru stabilirea valorilor k_n și k_p se pot utiliza metodele descrise în anexa I la Normele tehnice C 277-88.

În figura 2.4 sunt prezentate în mod schematic relațiile dintre caracteristicile de bază ale materialelor geosintetice și principalele funcții îndeplinite.

Considerând drept criterii principale rezistența la tracțiune, alungirea la rupere, permeabilitatea și dimensiunile porilor, în tabelul 2.II se prezintă orientativ clasificarea incrementală valabilă pentru aplicarea curentă în lucrările de construcții.

[\[top\]](#)

3. DATE NECESARE PROIECTĂRII

3.1. Întocmirea proiectului lucrărilor ce înglobează materialele geosintetice necesită cunoașterea prealabilă a următoarelor date principale:

3.1.1. Cu privire la amplasament:

- natura și starea terenului în zona de implantare a lucrării;
- caracteristicile climatice de bază - temperaturi, insolație, mișcarea aerului, precipitații etc.;
- prezența și acțiunea apei de suprafață și a celei subterane;
- prezența și acțiunea altor factori ambientali, naturali și artificiali
 - relief, vegetație, substanțe chimice agresive etc.

3.1.2. Cu privire la lucrare:

- natura și sistemul structural al construcției sau amenajării;
 - caracteristicile morfologice și dimensionale;
 - durata de exploatare prevăzută;
- natura și caracteristicile materialelor componente;
- natura și caracteristicile materialelor care intră în contact cu materialul geosintetic.

3.2. Prin procesul de proiectare se determină următoarele date principale privind materialele geosintetice care urmează a fi utilizate în lucrare:

3.2.1. Natura și intensitatea solicitărilor la care materialele vor fi supuse în cursul exploatării, în raport cu funcțiile atribuite;

3.2.2. Natura și forma de prezentare a materialelor;

Tabelul 2.II

Criteriul de clasificare	Clasele:											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Rezistența la tracțiune kN/m	longitudinală transversală		4	8	12	16	20	25	30	40	50	75	100
Alungirea la rupere %	longitudinală transversală		8	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100
Permeabilitate a	permitivitatea $\Theta \text{ s}^{-1}$		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10	50
	transmisivitatea $\Theta \text{ cm}^2/\text{s}$		0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0
Porometria	$O_{95} \mu\text{m}$		600	400	200	150	125	100	80	60	40	20	10

3.2.3. Caracteristicile dimensionale, hidrice și fizico-mecanice ale materialelor, în măsură să asigure exploatarea normală a lucrării pe întreaga durată prevăzută.

3.3. Proiectarea lucrărilor ce înglobează materiale geosintetice impune luarea în considerare, în condiții cât mai realiste, a comportării acestor materiale în lucrare.

Data fiind experiența tehnică încă relativ limitată în domeniu, principiile de proiectare a lucrărilor ce înglobează materiale geosintetice au în vedere, de regulă, următoarele căi și mijloace de abordare și tratare a problemelor.

3.3.1. Extrapolarea concluziilor rezultate din proiectarea și exploatarea lucrărilor la care s-au aplicat soluții prevăzând folosirea materialelor tradiționale - nisip, balast, ecrane asfaltice, armături metalice etc., după caz. Din acest punct de vedere, metodele de analiză a stabilității lucrărilor pot fi utilizate în numeroase situații, prin adaptarea la caracterul și comportarea specifică a materialelor geosintetice. Datele obținute prin studierea evoluției în timp a construcțiilor monitorizate se pot dovedi foarte utile pentru amplificarea experienței în domeniu.

O altă sursă de date o constituie examinarea cazurilor de cedare a unor construcții și amenajări la care, prin calcul invers, au putut fi determinate valorile critice ale parametrilor implicați în asigurarea rezistenței și stabilității lucrărilor.

3.3.2. Determinarea, prin încercări în laborator și pe teren, a proprietăților materialelor geosintetice. În raport cu caracterul lor și scopul urmărit, încercările trebuie să fie simple și ușor de efectuat, să necesite aparatură relativ simplă și cât mai fiabilă, iar rezultatele să poată fi interpretate și aplicate direct în proiectare. Pentru ca datele obținute să fie concludente, procedeele de testare trebuie să reproducă pe cât posibil condițiile la care materialele geosintetice vor fi expuse în exploatare (solicitări, deformații, umiditate, temperatură etc.).

3.3.3. Studiarea pe model a lucrării proiectate. În funcție de importanța, dimensiunile și complexitatea lucrării, precum și de condițiile de amplasare, se poate recurge la modelare analogică (fizică) sau analitică (mecanică).

Modelarea analogică implică reproducerea la scară redusă a întregii lucrări sau a unei părți din aceasta. Pe lângă avantajele luării în considerare a unui număr mare de parametri, procedeul are și inconveniente, printre care costul ridicat, limitele impuse de criteriile de similitudine și interpretarea uneori dificilă a rezultatelor.

Modelarea analitică admite valabilitatea unor legi generale, în formulare matematică, pentru descrierea proceselor fizice: în proiectare, soluțiile sunt, de regulă, prelucrate și prezentate sub forma de diagrame sau tabele, exprimând relații cantitative între diferiții parametri care intervin în dimensionarea lucrărilor. Pe lângă aceasta, perfecționarea și extinderea mijloacelor de calcul automat a permis elaborarea unor programe bazate pe discretizarea mediilor studiate și aplicarea metodelor numerice de analiză.

Pentru situațiile complexe, rezultatele obținute pe cale analitică pot fi verificate, după caz, prin încercări pe modele mari sau direct pe amplasament, pe tronsoane experimentale din lucrare.

[\[top\]](#)

4. PROIECTAREA LUCRĂRILOR ÎN CARE MATERIALELE GEOSINTETICE AU ROLUL UNOR ELEMENTE FILTRANTE

4.1. Un strat de material geosintetic îndeplinește funcția de filtrare atunci când permite circulația apei sau a altor lichide pe direcția perpendiculară pe planul său. Din acest punct de vedere pot fi definite trei situații:

4.1.1. Strat filtrant pentru o suspensie, având rolul de a opri particulele fine solide, lăsând însă apa să-l străbată;

4.1.2. Element al unei structuri destinate eliminării apei din teren prin drenare sau pompare. În acest caz el mărginește sau capteuște un colector deschis (conducta perforată, strat de agregate, saltea de material sintetic etc.) și are rolul de a împiedica trecerea particulelor solide odată cu apa;

4.1.3. Filtrul care limitează un element de consolidare sau sprijinire a unei protecții de mal (strat de piatră, prefabricate, gabioane etc.) la contactul dintre apă și corpul masivului de pământ; rolul său constă în reducerea pierderii de particule solide, totodată însă permițând trecerea apei.

În primele două cazuri, curgerea apei are loc într-un singur sens, în regim permanent, iar în ultimul caz curgerea apei poate fi în ambele sensuri, cu viteza variabilă.

4.2. Un filtru eficient trebuie să fie cât mai permeabil pentru apă, dar în același timp să rețină cât mai multe particule solide. În proiectare se vor avea în vedere următorii factori:

- condițiile geometrice (forma masivului de pământ), hidraulice (poziția fluidului, direcția și sensul scurgerii) și mecanice (greutăți, eforturi unitare);
- proprietățile fluidului (compoziție, densitate, vâscozitate) și ale particulelor (formă, dimensiuni, granulozitate, densitate, compoziție chimică, distribuție a golurilor);
- proprietățile fluidului (continuitate, permeabilitate, caracteristici mecanice).

Pe această bază, se consideră două criterii de evaluare a eficienței filtrante:

- Criteriul de permeabilitate;
- Criteriul de reținere a particulelor.

4.2.1. Referitor la criteriul de permeabilitate, condiția care se pune materialului geosintetic este de a nu permite o creștere exagerată a presiunii hidrostatice în fața filtrului. Admițând ca grosimea unui filtru geosintetic este de cel mult 1/100 din cea a unui filtru din material granular, rezultă că pentru același gradient pierderea de sarcină la trecerea prin filtru iar fi aceeași, dacă permeabilitatea geosinteticului iar fi de 100 de ori mai mare decât ca a filtrului granular. În situația în care pentru filtrele clasice se cere condiția:

$$k_f \geq k \quad (4.1)$$

pentru un filtru din material geosintetic iar trebui ca:

$$k_g \geq k \quad (4.2)$$

în care k_f este coeficientul de permeabilitate al filtrului din material granular, k_g al filtrului geosintetic și k - al pământului protejat.

Această condiție foarte severă nu ține seama de efectul colmatării în cursul exploatării; de aceea, la proiectare se va aplica relația:

$$k_g \geq 10k \quad (4.3)$$

pentru cazurile dificile, când:

- cedarea filtrului geosintetic iar conduce la pierderi de vieți sau degradări importante ale construcțiilor;
- costul refacerii filtrului iar depăși pe cel de execuție;
- sunt posibile curgeri în ambele sensuri;
- pământul protejat are o granulozitate discontinuă.

Pentru cazurile curente, care nu se încadrează în cele enumerate mai sus, se poate admite relația:

$$k_g \geq 10k \quad (4.1')$$

Încercările efectuate în edopermeamtru cu materiale geosintetice supuse la diferite presiuni, deci în condiții asemănătoare celor din exploatare, descrise în Normele tehnice C 277-88 anexa II, au arătat că materialul nu este afectat în mod exagerat de procesul de colmatare și își păstrează structura și proprietățile de filtrare pe termen lung.

4.2.2. Pentru aplicarea criteriului de reținere se are în vedere compoziția granulometrică a pământului cu care intră în contact filtrul geosintetic.

La pământurile obișnuite, cu granulozitate continuă, curba granulometrică are o formă asemănătoare cu litera „S” (Fig. 4.1) iar coeficientul de neuniformitate U_n se definește prin relația:

$$U_n = a_{60} / d_{10} \quad (4.4)$$

în care cu d_i s-a notat dimensiunea corespunzătoare unei proporții i % din total, marcată pe ordonata curbei.

Dacă porțiunea mediană a curbei este asimilată cu o dreaptă, se poate scrie:

$$U'_n = d'_{60} / d'_{10} \approx d'_{50} / d'_0 \approx d_{100} / d'_{50} \quad (4.5)$$

unde U'_n este denumit coeficientul liniar de neuniformitate iar toți parametri notați cu „prim” se referă la puncte de pe dreapta (fig. 4.1).

La filtrele din material geosintetic (geotextile) se ia în considerare curba porometrică (Fig. 4.2) asemănătoare în principiu cu cea granulometrică, însă în care în abscisă sunt reprezentate dimensiunile porilor dintre fibre, notate cu O_i , la scara logaritmică. În practică se va considera ca dimensiune caracteristică valoarea O_{95} (față de care 95% din porii materialului au dimensiuni mai mici).

În cazul pământurilor relativ uniforme, pentru care $U'_n < 3$, structura granulară este stabilă, iar particulele sunt încleștate unele în altele. Singura condiție care se pune filtrului este de a reține particulele cele mai mari.

Dacă pământul este îndesat, se poate considera ca particula cea mai mare (cu diametrul d_{100}) este de două ori mai mare, decât d'_{100} de pe dreapta convențională (Fig. 4.1) și deci criteriul de reținere se exprimă prin:

$$O_{95} < d'_{100} \quad (4.6)$$

sau, ținând seama de relația (4.5):

$$O_{95} < 2U'_n d'_{50} \approx 2U'_n d'_{50} \quad (4.7)$$

Dacă pământul este afânat, este suficient ca o singură particulă mare din pământ să se deplaseze prin materialul geosintetic pentru ca structura să se destabilizeze, astfel încât criteriul de reținere devine:

$$O_{95} < U'_n d_{50} \quad (4.8)$$

În cazul când coeficientul liniar de neuniformitate U'_n depășește valoarea 3, particulele nu mai sunt bine încleștate, iar filtrul geosintetic se va alege astfel încât porii săi cei mai mari să fie mai mici decât o anumită dimensiune d'_x a particulelor din pământ; această dimensiune se poate lua:

$$d'_x = 10d_0 \quad (4.9)$$

În proiectare, prevederile referitoare la criteriul de reținere au un caracter predominant empiric și constau în stabilirea unor condiții privind dimensiunile porilor, în raport cu granulozitatea și starea fizică a pământului aflat în contact cu filtrul.

În Normele tehnice C. 277-88 se prevede că eficiența filtrantă a geotextilelor să se determine fie prin verificarea capacității de reținere a debitului solid, fie prin verificarea satisfacerii condițiilor de permeabilitate și reținere a particulelor solide, pe baza dimensiunilor porilor și ale particulelor din pământ. Geotextilele se împart în două categorii - cu grosimea H_g mai mică și respectiv mai mare decât 2

milimetri. Pentru $H_g \leq 2$ mm se prevede ca:

$$1,7 < O_{90} / d_{50} < 3 \quad (4.10)$$

iar pentru $H_g > 2$ mm:

$$3 < O_{90} / d_{50} < 5 \quad (4.11)$$

Se adoptă de asemenea un criteriu care include și coeficientul de neuniformitate U_n al pământului:

$$O_{90} / d_{50} = 18 / U_n \quad (4.12)$$

Aceste prevederi sunt valabile pentru faza preliminară de proiectare. La proiectarea definitivă se recomandă a se ține seama și de starea de îndesare a pământului (tabelul 4.1), precum și de gradientul hidraulic aplicat, astfel: dacă gradientul hidraulic din vecinătatea materialului geosintetic este cuprins între 5 și 20, valorile dimensiunilor porilor din tabel se vor reduce cu 20%, iar dacă gradientul depășește 20 sau curgerea apei este posibilă în ambele sensuri, valorile se vor reduce cu 40%.

Tabelul 4.1

Natura și starea pământurilor	Condiții pentru materialul geosintetic (geotextil)
$U_n > 4$ îndesat	$4d_{15} \leq 0,7O_{95} \leq 1,25d_{85}$
$U_n > 4$ afânat	$4d_{15} \leq 0,7O_{95} \leq d_{85}$
$U_n < 4$ îndesat	$0,7O_{95} \leq d_{85}$
$U_n < 4$ afânat	$0,7O_{95} \leq 0,8d_{85}$

[\[top\]](#)

5. PROIECTAREA LUCRĂRILOR ÎN CARE MATERIALELE GEOSINTETICE AU ROLUL UNOR ELEMENTE DRENANTE

Funcția de drenare a materialelor geosintetice se bazează pe proprietatea acestora de a permite circulația apei în planul lor (transmisivitate), definită în Glosarul de la finele Ghidului. Notând cu k_p permeabilitatea în plan și cu H_g grosimea stratului geosintetic, transmisivitatea Θ se exprimă prin:

$$\Theta = k_p H_g \quad (\text{m}^2 / \text{s}) \quad (5.1)$$

Drenarea se asigură de regulă prin straturi groase de geotextile netesute (pâsle) confecționate prin scâmoșare precum și prin altele, plase, rețele și elemente compozite tip „fitil” cu nuclee din material plastic.

Drenurile geosintetice servesc la eliminarea apei din masele de pământ în scopul accelerării procesului de consolidare sub încărcare, la colectarea și evacuarea apei de infiltrație din baraje, diguri și ramblee de pământ, prevenirea degradării prin îngheț a sistemelor rutiere fondate de terenuri gelive, controlul și împiedicarea pierderilor de substanțe fluide prin exfiltrare din depozitele îngropate de deșeuri și materiale nocive etc.

5.1. Accelerarea procesului de consolidare a pământului prin drenare orizontală

Fenomenul de migrare a apei prin materialele geosintetice este complex, parametrii principali - grosimea stratului, presiunea apei din pori - variind în timp și spațiu. În proiectare se admite următoarele ipoteze simplificatoare:

- valabilitatea teoriei consolidării unidimensionale;
- constanta în timp a grosimii stratului de geosintetic;
- considerarea în calcul a presiunii apei U_g în geosintetic numai pentru stabilirea debitului drenat.

Calculul drenării de consolidare cuprinde următoarele etape:

- Calculul vitezei de drenare a apei din pământ în procesul de consolidare;
- Calculul debitului ce poate fi drenat prin stratul geosintetic;
- Evaluarea eficienței drenării.

5.1.1. Întrucât pământul este saturat, în cazul curgerii unidimensionale, tasarea la timpul t este dată de:

$$s_t = Us_t \quad (5.2)$$

în care U este gradul de consolidare, iar β tasarea finală, care pentru mediile liniar deformabile rezultă din:

$$s_t = (pH)/M \quad (5.3)$$

în care p este presiunea aplicată, H grosimea stratului de pământ și M - modulul edometric al pământului, obținut experimental sau prin:

$$M = (C_v \gamma_w) / k \quad (\text{kPa}) \quad (5.4)$$

unde C_v este coeficientul de consolidare, k coeficientul de permeabilitate al pământului, iar γ_w greutatea volumică a apei din pământ.

$$v = [(pk) / \gamma_w H] \quad (dU / dT) \quad (\text{cm} / \text{s}) \quad (5.5)$$

în care T este factorul (adimensional) de timp, ce se obține cu relația:

$$T = (c_{vt})/H^2 \quad (5.6)$$

unde cu t s-a notat timpul real.

Relația $U = f(T)$ depinde de modul de aplicare a presiunii p . În [figura 5.1](#) se prezintă două cazuri tipice: (1) presiunea aplicată instantaneu la timpul $t = 0$ și (2) presiunea crescătoare liniar între timpii $t = 0$ și $t = t_0$. Calculele în proiectare se fac în cazul (2).

Viteza maximă de circulație a apei, v_{max} , este dată de:

$$v_{max} = \frac{pk}{\gamma_u H \sqrt{T_0}} \quad \text{dacă } T_0 \leq 1 \quad (5.7)$$

și

$$v_{max} = \frac{pk}{\gamma_u H T_0} \quad \text{dacă } T_0 > 1 \quad (5.8)$$

5.1.2. Pentru evaluarea debitului apei eliminate din pământ, Q , se admite că v este constantă și egală cu v_{max} , astfel încât:

$$Q = v_{max}LB = v_g LH_g \quad (\text{cm}^3 / \text{s}) \quad (5.9)$$

în care L este lungimea și B lățimea stratului de material geosintetic, iar v_g este viteza apei în materialul geosintetic pe direcție orizontală.

Curgerea prin geosintetic depinde de presiunea maximă U_{gmax} care se dezvoltă în porii acestuia și care se obține cu relația:

$$U_{gmax} = \frac{pB^2}{8\sqrt{T_0}} \quad \frac{k}{Hk_p H_p} \quad \text{dacă } T_0 \leq 1 \quad (5.10)$$

și

$$U_{gmax} = \frac{pB^2}{8T_0} \quad \frac{k}{Hk_p H_p} \quad \text{dacă } T_0 > 1 \quad (5.11)$$

5.1.3. Condiția de eficiență ce trebuie îndeplinită de materialul geosintetic utilizat ca element de drenare este că presiunea apei din acest material să fie cât mai mică în raport cu presiunea p aplicată de stratul de pământ, respectiv:

$$U_{gmax} \ll p \quad (5.12)$$

pe de o parte pentru asigurarea circulației libere a apei prin dren, iar pe de alta pentru a nu stânjeni procesul de consolidare. Factorul de eficiență se definește prin raportul:

$$e = p/U_{gmax} \quad (5.13)$$

iar valoarea acestui factor se calculează prin:

$$E = \frac{8\sqrt{T_0}}{B^2} \frac{Hk_p H_g}{k} \quad \text{dacă } T_0 \leq 1 \quad (5.14)$$

și

$$E = \frac{8T_0}{B^2} \frac{Hk_p H_g}{k} \quad \text{dacă } T_0 > 1 \quad (5.15)$$

Înlocuind pe T_0 cu valoarea cunoscută din teoria consolidării unidimensionale:

$$T_0 = (c_v t_0)/H^2 \quad (5.6')$$

se obține:

$$E = \frac{8\sqrt{c_v t_0}}{B^2} \frac{k_p H_g}{k} \quad \text{dacă } T_0 \leq 1 \quad (5.16)$$

și

$$E = \frac{8c_v t_0}{B^2} \frac{k_p H_g}{k} \quad \text{dacă } T_0 > 1 \quad (5.17)$$

Adoptând pentru E o valoare curentă, de exemplu $E = 8$, condiția de mai sus devine:

$$k_p H_g > \frac{B^2 k}{\sqrt{c_v t_0}} \quad \text{pentru } T_0 \leq 1 \quad (5.18)$$

și

$$k_p H_g > \frac{B^2 k}{c_v t_0} \quad \text{pentru } T_0 > 1 \quad (5.19)$$

în care membrul din stânga al inegalității reprezintă, prin definiție, transmisivitatea Θ a geosinteticului.

5.2. Consolidarea terenului prin drenuri verticale (fitil)

Materialele geosintetice pot fi utilizate ca drenuri verticale pentru accelerarea consolidării maselor de pământ. În acest caz ele sunt denumite drenuri-fitil. Astfel de drenuri se prezintă fie ca benzi simple, fie ca benzi duble (tuburi turtite prevăzute în interior cu un nucleu flexibil alveolar din material plastic, care colectează și evacuează apa din pământ.

Calculul drenajului cuprinde următoarele etape:

5.2.1. Verificarea condiției ca permeabilitatea drenurilor geosintetice să fie mult superioară celei a pământului din jur. Această condiție este în general satisfăcută, întrucât drenurile se introduc în argile prăfoase, prafuri sau prafuri nisipoase, al căror coeficient de permeabilitate este cel mult de ordinul a 10^{-4} cm/s, în timp ce geotextilele neșesute din care se confecționează aceste drenuri au coeficientul de permeabilitate de cel puțin 10^{-2} cm/s.

5.2.2. Determinarea diametrului echivalent al unui dren, d_e , care se calculează cu relația:

$$d_e = [2(B + t)/\pi] \quad (5.20)$$

în care B este lățimea și t grosimea drenului fitil.

5.2.3. Stabilirea zonei echivalente (sau de influență) L_e a drenului este definită ca diametrul cilindrului de pământ aferent unui dren (Fig. 5.2). În cazul dispunerii triunghiulare a drenurilor zona echivalentă este $L_e \approx 1,05L$ iar pentru dispunerea în pătrat, $L_e \approx 1,13L$ în care L este distanța dintre drenuri.

5.2.4. Calculul coeficientului de consolidare pe direcție orizontală c_h cu ajutorul relației:

$$c_h = k_h / (m_v \gamma_w) \quad (5.21)$$

în care k_h este coeficientului de permeabilitate pe direcție orizontală, iar m_v este coeficientul de compresibilitate volumică al pământului. Pentru pământurile coezive, în lipsa de date experimentale, c_h poate fi luat egal cu $1 \dots 4c_v$ (pe direcție verticală). La pământurile stratificate valoarea respectivă poate fi mult mai mare.

5.2.5. Cu elementele de mai sus, timpul t_a necesar atingerii unui grad de consolidare U_a se calculează cu formula:

$$t_a = \frac{L_e^2}{8c_h} [\ln(L_e / d_e) - 0,75] \ln \frac{1}{1 - U_a}$$

În principiu, calculul unui dren din material geosintetic se efectuează egalând debitul de apă evacuat din pământ cu cel transportat prin dren.

Conform legii Darcy, ambele debite depind de permeabilitățile celor două medii și de gradientul hidraulic. Drenajul este rapid atunci când gradientul în pământ este maxim, iar presiunea apei în dren este minimă.

Prin calcul se va urmări ca presiunea apei în materialul geosintetic să aibă cea mai mică valoare compatibilă cu curgerea prin acest material.

5.3. Drenuri de interceptție în corpul lucrărilor de pământ

În cazul lucrărilor de reținere a apei (baraje, diguri) realizate sub formă de ramblee compactate cu secțiune omogenă, materialul din corpul lucrării, deși în principiu impermeabil, poate permite filtrarea unui anumit debit din amonte. Pentru ca apa filtrată să nu ajungă în zona paramentului aval se amenajează în interiorul lucrării un dren de interceptie, vertical sau - de regulă - înclinat spre aval, care se descarcă într-un dren de evacuare la baza structurii (Fig. 5.3). Curgerea în dren fiind gravitațională, presiunea apei în interiorul său trebuie să fie nulă. Debitul infiltrat în dren se evaluează cu ajutorul spectrului hidrodinamic.

Se va avea în vedere și eventuala anizotropie a materialului din corpul barajului, respectiv permeabilitatea pe direcție orizontală sensibil mai mare decât cea pe direcție verticală. În consecință liniile de curent vor fi aproape horizontale iar capătul superior al drenului trebuie să fie la nivelul maxim pe care-l poate atinge nivelul apei în amonte de baraj.

Transmisivitatea necesară a materialului geosintetic se determină pe baza legii Darcy cu formula:

$$\Theta_{nec} = k_p H_g = (Q/L) i \quad (m^2/s) \quad (5.23)$$

în care Q este debitul drenat (m^3/s), L - lungimea stratului drenant (m) și i - gradientul hidraulic, în funcție de unghiul pantei drenului β (Fig. 5.3):

$$i = \sin\beta \quad (5.24)$$

În mod obișnuit se consideră $\beta = 45^\circ$, deci $i = \sqrt{2/2}$, condiția de proiectare devenind:

$$\Theta_{nec} = F_s (\sqrt{2/2})(Q/L) \quad (m^2/s) \quad (5.25)$$

în care F_s este un coeficient de siguranță, care se ia egal cu 10.

În proiectare se determină și presiunea normală pe stratul geosintetic, care crește cu adâncimea și poate afecta transmisivitatea materialului. Din condiția ca transmisivitatea efectivă să fie mai mare decât cea necesară se deduce grosimea H_g necesară a drenului de interceptie.

5.4. Straturi de rupere capilară sub sistemele rutiere

În zonele în care patul sistemelor rutiere este alcătuit din pământuri gelive, apa din adâncime migrează în cursul iernii spre suprafață, datorită capilarității și termoosmozei, acumulându-se în zona de îngheț sub formă de lentile de gheață. În perioada dezghețului lentilele se topesc, iar pământul se înmoaie, deteriorând sistemul rutier.

Pământurile cele mai sensibile la îngheț sunt nisipurile fine, prăfoase, cu peste 30% particule cu dimensiuni sub 0,05 mm. Înălțimea capilară în aceste formațiuni poate depăși 1 m (în comparație cu nisipurile mijlocii cu particule în jur de 0,5 mm, la care această înălțime este de numai 0,12 m).

Pentru combaterea fenomenului de gelivitate se acționează pe două căi:

- întreruperea coloanei capilare prin goluri mai mari umplute cu aer;
- îndepărtarea fluxului capilar în afara zonei de îngheț.

Aceste obiective se realizează prin intercalarea în terenul de fundare a unui dren din material grosier relativ uniform, de exemplu un strat de 10...15 cm grosime de pietriș mărunț (peste 4 mm), învelit în

material geotextil, care are rolul de a evita colmatarea stratului macrogranular cu particule fine din terenul din jur. Drenul va avea anumite pante transversale și va fi prevăzut cu conducte perforate de colectare a apei acumulate. ([Fig. 5.4](#)).

Stratul de rupere capilară poate fi plasat fie la limita inferioară a zonei de îngheț, fie mai jos cu 0,2...0,3 m ([Fig. 5.5.a și b](#)), spre a se ține seama de eventuala adâncire a acestei limite în iernile excesiv de reci.

O altă variantă de proiectare constă în alcătuirea stratului de rupere capilară exclusiv din materiale geosintetice - elemente alveolare sau grile învelite în foi de geotextil. În astfel de cazuri, stratul respectiv se va extinde lateral față de platforma protejată cu cel puțin o distanță egală cu adâncimea la care a fost plasat.

Drenurile menționate pot fi prevăzute și în regiuni nesupuse la îngheț; în aceste cazuri ele au ca scop împiedicarea ascensiunii spre suprafață a apei încărcate cu săruri în soluție aflată eventual în adâncime - săruri care iar putea provoca degradarea betonului din sistemul rutier.

5.5. Drenuri pentru combaterea exfiltrației din depozitele de deșeuri

La proiectarea depozitelor de deșeuri îngropate total sau parțial protecția mediului ambiant prin prevenirea tuturor exfiltrațiilor posibile constituie o măsură obligatorie. Întrucât experiența a arătat că geomembranele folosite ca atare la căptușirea depozitelor nu pot asigura o etanșare totală, prevederea unui sistem de drenaj este indispensabilă. debitul exfiltrat va fi cu atât mai mare cu cât presiunea lichidului din interiorul depozitului este mai mare.

Capacitatea de drenaj se stabilește în funcție de cantitatea pierderilor a căror evaluare este dificilă, datorită neomogenității deșeurilor ce vor fi depozitate. Pe de altă parte, debitul exfiltrat este limitat de permeabilitatea pământului din jurul depozitului; prin urmare, capacitatea sistemului de drenaj va fi mai mare decât cantitatea de fluid ce se poate infiltra în teren. Pentru împiedicarea exfiltrației trebuie ca presiunea lichidului din depozit, aflat în contact cu membrana, să fie neglijabilă. Această condiție poate fi satisfăcută prin plasarea pe geomembrană a unui strat drenant, la bază și pe pereții depozitului ([Fig. 5.6](#)). Rolul acestui strat constă în captarea lichidului scurs din deșeuri și dirijarea lui către un tub colector de bază, de unde să fie evacuat.

În cazul scurgerii libere, presiunea lichidului (exprimată în coloană de lichid, h) pe geomembrana situată sub dren este:

$$h = Q / Bk_p \operatorname{tg} \beta \quad (\text{m}) \quad (5.26)$$

în care Q este debitul de lichid (m^3/s), B lățimea de dren luată în considerare (m), k_p coeficientul de permeabilitate în plan al stratului drenant (m/s) și β unghiul pantei drenului.

Permeabilitatea, respectiv transmisivitatea geotextilului din dren trebuie să fie suficient de mare pentru ca presiunea în dren să fie neglijabilă (câțiva centimetri). În cazul în care grosimea stratului de lichid este mai mare, se pot prevedea două sau trei straturi de geotextil.

La depozitele ce conțin substanțe periculoase, a căror infiltrare în teren iar provoacă poluarea gravă a mediului, se prevăd sisteme de protecție cu două sau trei rânduri de geomembrane alternate cu straturi drenante, cu dispozitive de motorizare a scurgerilor, eventual cămine sau galerii vizitabile, astfel cum se va arăta la pct. 8.2 al prezentului ghid.

[\[top\]](#)

6. PROIECTAREA LUCRĂRILOR ÎN CARE MATERIALELE GEOSINTETICE AU ROLUL UNOR ELEMENTE DE SEPARARE

Materialele geosintetice îndeplinesc funcția de separare în cazul când, intercalate între două straturi care au tendința de a se amesteca atunci când sunt supuse la încărcări statice, dinamice, sau la efectul unui curent de apă, împiedică întrepătrunderea acestor straturi. Elementele de separare trebuie să rețină particulele din pământ, rezistând totodată la eforturile produse de încărcările aplicate; în consecință, la proiectare se vor avea în vedere atât criteriul de reținere, cât și cel de rezistență la tracțiune.

Materialele geosintetice cu rol de separare sunt în general utilizate pentru consolidarea platformelor, în particular a celor rutiere, nepavate sau pavate. La primele, sistemul rutier constă dintr-un strat de agregate necimentate, iar la celelalte, stratul superior este alcătuit dintr-un material monolit - beton, asfalt etc. O platformă aflată în curs de execuție se comportă ca o platformă nepavată.

Sistemul rutier are, printre altele, rolul de a distribui încărcarea exercitată de vehicule pe o suprafață suficient de mare a terenului de fundare, astfel încât presiunea pe teren să nu depășească valoarea admisibilă. La contactul cu terenul, mai ales dacă acesta este moale, particulele fine din teren pot pătrunde în stratul de agregate în timpul exploatarei, iar unele din agregate vor penetra în teren. Dacă în stratul macrogranular pătrunde mai mult de 20% material fin, capacitatea portantă a acestui strat scade până aproape de cea a terenului moale aflat dedesubt.

6.1. Capacitatea de reținere a stratului de separare

Capacitatea de reținere depinde de dimensiunile porilor. Criteriul respectiv este expus în Cap. 4 al acestui ghid, iar determinarea se face conform indicațiilor din normele C 227-88, anexa II, cap. 6.2.

Prevederea unui strat de separare este foarte utilă în cazul terenurilor umede; stratul trebuie să fie permeabil, spre a nu favoriza creșterea presiunii interstițiale în pământ.

Sub încărcări statice (greutatea proprie sau trafic foarte lent) particulele solide pot pătrunde sau traversa stratul separator, printr-un proces hidraulic sau mecanic. Pe cale hidraulică, particulele pot fi antrenate de apa eliminată din pământ în procesul de consolidare, stratul de separare îndeplinind funcția de filtru pentru curgeri staționare. Pe cale mecanică, datorită încărcărilor exterioare poate avea loc o curgere plastică, în care să fie antrenate particule fine din pământ, dacă materialul geosintetic are pori mari. În general o astfel de curgere plastică nu este posibilă, dacă materialul satisface criteriul de filtru.

Sub încărcări dinamice (mai ales în cazul rambleelor feroviare pentru trenuri de mare viteză) se pot declanșa procese de pompă locală, având drept consecințe creșterea umidității și deranjarea structurii pământului. Particulele mai fine pot fi forțate să treacă prin stratul sintetic, chiar dacă acesta îndeplinește condiția de reținere pentru curgerea permanentă a apei. În astfel de situații se va adopta următorul criteriu:

$$O_{95} < d_{50} \text{ dacă } U_n \leq 18 \quad (6.1)$$

și

$$O_{95} < d_{50} U_n \text{ dacă } U_n > 18 \quad (6.2)$$

în care O_{95} se referă la materialul geosintetic, iar d_{50} este dimensiunea medie a particulelor din pământ, U_n fiind gradul de neuniformitate al acestuia.

6.2. Utilizarea materialelor geosintetice ca straturi de separare sub platforme nepavate

Stratul geosintetic (geotextil) este cu atât mai solicitat cu cât este comprimat între două materiale foarte diferite - unul cu particule fine și celălalt cu particule mari, cu forme variate (Fig. 6.1). În cazul (a), presiunea aplicată asupra stratului fin provoacă solicitări de *înțepare* la contactul cu fragmentele grosiere și de *plesnire* în dreptul golurilor dintre aceste fragmente. În cazul (b), un nisip așezat pe o dală de beton cu crăpături produce în geosintetic solicitări asemănătoare. În situația (c), stratul de separare suferă solicitări de înțepare din partea agregatelor din stratul inferior, care eventual au muchii ascuțite. Forțele concentrate, acționând normal pe planul stratului de separare, provoacă eforturi de tracțiune, care, în funcție de caracterul solicitării, pot fi denumite, după caz, de *smulgere* sau de *agățare*.

Dacă un strat de material geosintetic este așezat deasupra unei deschideri și supus unei presiuni uniforme distribuite de sus în jos, se produce efectul de membrană (Fig. 6.2). Notând cu y săgeata membranei, cu b lățimea deschiderii și cu F expresia

$$F = (1/4)(2y/b + b/2y) \quad (6.3)$$

alungirea E a stratului geosintetic se determină cu expresiile:

$$\text{- pentru } y/b \leq 0,5 \quad 1 + \varepsilon = 2F \arcsin 1/2F \quad (6.4)$$

$$\text{- pentru } y/b > 0,5 \quad 1 + \varepsilon = 2F(\pi \arcsin 1/2F) \quad (6.5)$$

Rolul stratului geosintetic așezat la baza stratului de agregate mari ce constituie structura unei platforme nepavate constă în îmbunătățirea distribuției presiunilor la contactul cu terenul de fundare și prevenirea întrepătrunderii celor două materiale. Pentru proiectare se recomandă utilizarea metodei Giroud-Noiray sau metodei Sellmeijer, conform indicațiilor de mai jos.

6.2.1. Metoda de calcul Giroud-Noiray

Considerând un vehicul care circulă pe un drum nepavat, se asimilează amprenta unui pneu cu un dreptunghi cu lățimea B și lungimea L . Relațiile între aceste dimensiuni, încărcarea pe osie P , presiunea în pneuri p_t și tipul vehiculului sunt:

- pentru vehicule obișnuite, inclusiv camioane:

$$B = \sqrt{P/p_t} \quad , \quad L = (2/2)B = 0,707B \quad (6.6)$$

- pentru utilaje grele de construcții cu pneuri late sau duble:

$$B = \sqrt{1,414(P/p_t)} \quad , \quad L = 0,5B \quad (6.7)$$

Pentru utilajele de construcții se poate adopta valoarea $p_t = 620$ kPa. Cu notațiile din figura 6.3, presiunea p aplicată pe terenul de fundare coeziv se obține cu:

$$p = \frac{P}{2(B + 2htg\alpha)(L + 2htg\alpha)} \quad (6.8)$$

În care h este grosimea stratului de agregate mari și α este unghiul de extindere laterală a încărcării. Valoarea $tg \alpha$ este de regulă cuprinsă între 0,5 și 0,7 deci se poate lua $tg \alpha = 0,6$, de unde

$$p = \frac{P}{2(B + 1,2h)(L + 1,2h)} \quad (6.9)$$

În calcul, valoarea capacității portante la limita elastică q_e și la limita de cedare plastică q_p se va stabili prin încărcări statice pe placa pe terenul de fundare (Fig. 6.4) și se va defini în raport cu coeziunea în

$$\text{regim nedrenat } c_u \text{ a pământului respectiv, } q_e = \pi C_u \text{ și } q_p = (\pi + 2) C_u.$$

Dacă stratul de material geosintetic între agregate și teren *lipsește*, presiunea la bază se va limita la valoarea q_e și relația (6.9) devine:

$$\pi C_u = \frac{P}{2(B + 1,2h_0)(L + 1,2h_0)} \quad (6.10)$$

Valoarea h_0 obținută din relația (6.10) reprezintă grosimea minimă a stratului de agregate pentru o singură trecere a vehiculului. Dacă numărul de treceri depășește 20, grosimea stratului se va spori, aplicându-se relația empirică:

$$h'_0 = \frac{[125 \log N - 294(r - 0,075)]}{C_u 0,63} \quad (6.11)$$

în care h'_0 este grosimea stratului (m), N numărul de treceri al unei osii cu încărcarea de 80 kN, r adâncimea amprentei lăsate de pneuri (m) și C_u coeziunea în regim nedrenat a pământului (în N/m^2). Relația este valabilă numai până la $N = 10000$.

În cazul când se *prevede* stratul de material geosintetic la baza agregatelor, în relația (6.10) valoarea capacității portante din membrul $l(q_e)$ se înlocuiește cu q_e , iar valoarea unghiului de extindere laterală α se mărește, astfel încât $tg \alpha = 0,8 + 1,0$. Relația de dimensionare devine:

$$(\pi + 2) C_u = \frac{P}{2(B + 1,8h_G)(L + 1,8h_G)} \quad (6.12)$$

în care h_G este grosimea necesară a stratului de agregate în prezența stratului geosintetic.

Economia de agregate se exprimă prin reducerea grosimii:

$$\Delta h \approx h_0 - h_G \quad (6.13)$$

Această reducere, stabilită pentru condiții de trafic ușor (h_0 , relația (6.10)) se poate aplica și pentru traficul greu (h'_0 , relația (6.11)).

Dacă pentru stratul de separație se adoptă o geogrilă, valoarea coeziunii C_u se va înmulți cu un factor subunitar λ_c dat de relația:

$$\lambda_c = \frac{1}{1 + (\log N)^{1.5} C_u} \quad (6.14)$$

în care C_u este exprimat în N/m^2 .

Pentru faza preliminară de proiectare pot fi utilizate, cu caracter orientativ valorile din tabelul 6.1, în funcție de plasticitatea pământului și de adâncimea apei subterane în raport cu stratul geosintetic.

Proiectul definitiv se ca întocmi pe baza valorii C_u determinată prin încercări de laborator pe probe de pământ recoltate de pe amplasament.

6.2.2. Metode de calcul Sellmeijer

Dimensiunile amprentei pneului sunt considerate independente de presiunea în pneuri; ele se calculează cu:

$$B = nB_t \quad \text{și} \quad L = B_t \quad (6.15)$$

în care B este lățimea efectivă de contact, L lungimea efectivă de contact, n numărul de pneuri la fiecare capăt de osie și B_t lățimea unui pneu.

Tabelul 6.1.

Natura pământului	Indicele de plasticitate	Valoarea aproximativă c_u (kPa)	
		> 60 cm până la apa subterană	≤ 60 cm până la apa subterană
Argilă grasă	70	60	30
	60	60	45
Argilă	50	75	60
	40	90	90
Argilă prăfoasă	30	150	90
Praf	-	60	30

Pentru agregatele utilizate curent în sistemele rutiere se ia $tg \alpha = 0,5$ (Fig. 6.3). Cu aceste valori, relația (6.8) devine:

$$p = \frac{P}{2(B+h)(L+h)} \quad (6.16)$$

Considerând stratul de material geosintetic (geotextil) ca o membrană încărcată de sus în jos cu presiunea transmisă de la osie, p , și de jos în sus cu presiunea reactivă a terenului, se vor utiliza următoarele relații de proiectare:

$$r = (B' + d)^2 / (4\lambda B') \quad (6.17)$$

unde

$$\lambda^3 = \frac{2l(B'^2 + 3d^2)}{3q_p B_d b^2} \quad (6.18)$$

$$T_{max} = (q_p / 2) \sqrt{(B' + d)^2 + b^2 B'^2} \quad (6.19)$$

în care:

r - adâncimea amprenteii pneurilor (m);

J - rigiditatea la tracțiune a feotextilului, definită ca raport între creșterea forței pe unitatea de lățime și creșterea corespunzătoare a deformației specifice (kN/m);

T_{max} - forța maximă de tracțiune în geotextil (kN/m);

q_p - presiunea maximă (de cedare) a terenului (kPa);

B_d - lățimea drumului (m);

B_a - lungimea osiei (ecartament) (m);

B' - diferența de lățime la nivelul terenului de fundare între zona plastică din teren și zona de aplicare a efortului provenit de la roți (m);

d - un factor care depinde de rapoartele b / B_a și $b / (B_d B_a)$, așa cum se arată mai jos (m);

b - lățimea zonei plastice din teren (m).

Se consideră o fâșie de teren la nivelul terenului de fundare, transversală pe axul drumului. Lățimea acestei fâșii este $L + h$ (dacă admite $tg\alpha = 0,5$. Forțele care acționează pe fâșie sunt:

$$F_n = p / 2 \quad (6.20)$$

- de sus în jos:

$$F_n = q_p b (L + h) \quad (6.21)$$

- de jos în sus:

Pentru echilibru:

$$P/2 = q_p b(L+h) \quad (6.22)$$

de unde:

$$b = P / [2q_p (L+h)] \quad (6.23)$$

De asemenea, $B' = b - B - h$ (când $\text{tg } \alpha = 0,5$)

și

$$q_p = (\pi + 2) C_u$$

Valoarea factorului d se va lua astfel:

Dacă $b < B_a$ și $b < B_d - B_a$, se ia $d = 0$.

Dacă $b < B_a$ și $b > B_d - B_a$, se ia $d = B_d - B_a - b$.

Dacă $b > B_a$ și $b < B_d - B_a$, se ia $d = B_d - B_a$.

Dacă $b > B_a$ și $b > B_d - B_a$, lățimea drumului B este insuficientă.

Relațiile de calcul de mai sus au fost stabilite pentru o singură trecere a osiei. În practică se va considera un număr mare de treceri N , în care scop în calcule se va introduce o încărcare echivalentă P_e , care se stabilește cu relația empirică:

$$P_e = pN^{0,1613} \quad (6.24)$$

6.2.3. Calculul la plesnire și la înțepare

În general, pentru valori curente ale amprentelor (făgașelor) lăsate de roți, de ordinul a 10...15 cm, solicitările de tracțiune asupra materialului geosintetic de la baza agregatelor nu sunt exagerate. În schimb este necesară verificarea solicitărilor la plesnire și la înțepare.

În [figura 6.5](#), se evidențiază modul de deformare a unei foi de geotextil în spațiul dintre două agregate vecine. Pe porțiunile AB și CD, foaia este supusă la eforturi de *înțepare*, care tind să o străpungă iar pe porțiunea BC, efortul reactiv din partea terenului subiacent are tendința de a curba materialul - efort de *plesnire*.

Valoarea medie a distanței BC poate fi asimilată cu diferența $d_{50} - d_c$, în care d_{50} este dimensiunea medie a particulei din stratul de agregate și d_c este dimensiunea medie a suprafeței de contact.

Valoarea maximă posibilă a presiunii reactive a terenului este capacitatea portantă ultima q_u (corespunzătoare cedării), obținută cu relația:

$$q_u = (\pi + 2) C_u + \gamma \cdot h \quad (6.25)$$

în care C_u este coeziunea în regim nedrenat (kPa), γ greutatea volumetrică a agregatelor (kN/m^3) și h adâncimea maximă a stratului de agregate.

Forța de plesnire se calculează cu:

$$F_p = (c_u / 4) \pi (d_{50} - d_c)^2 \quad (\text{kN}) \quad (6.26)$$

Față de rezistența materialului geosintetic, determinată prin încercări, conform indicațiilor din normele C 227-88, anexa II, cap. 3, se aplică un coeficient de siguranță de minimum 3. În proiectare, valoarea dimensiunii de contact d_c se ia egală cu $d_{50} / 4$ pentru agregatele colțuroase și cu $d_{50} / 2$ pentru agregatele rotunjite.

Fenomenele de plesnire pot avea loc și în situațiile în care materialul fin, coeziv, se află deasupra stratului geosintetic, iar agregatele dedesubt, ca de exemplu, un rambleu de pământ construit pe pietriș sau pe stâncă fisurată. Presiunea la baza rambleului este:

$$p = \gamma \cdot h \quad (\text{kPa}) \quad (6.27)$$

în care γ este greutatea volumică a pământului din rambleu și h înălțimea acestuia. În general însă, presiunea este mult mai mică sau chiar nulă - în cazul pământurilor coezive cu consistența ridicată - datorită efectului de boltă exercitat de pământ peste goluri sau fisuri de dimensiuni mici.

Pericolul de înțepenire este redus, mai ales la materialele geosintetice cu alungire mare la rupere. Riscul de înțepare se micșorează, dacă materialul este pus în operă relaxat și nu întins. Pentru determinarea rezistenței necesare la înțepare se evaluează forțele de contact între materialul geosintetic și agregate, forțe care depind de numărul de contacte pe unitatea de suprafață. În cazul pietrișului cu fragmente mai mici decât

100 mm, există în general un singur contact pe fiecare agregat (particulă), deci forța de contact sau de înțepare F_1 va fi:

$$F_1 = p d^2 \quad (6.28)$$

în care p este efortul normal mediu și d , dimensiunea particulei.

Determinarea rezistenței la înțepare se face conform indicațiilor din normele C 227-88m anexa II, Cap. 4.

În cazul solicitărilor statice se prevede un coeficient de siguranță egală cu 1,5, iar pentru solicitări dinamic coeficientul se majorează la 3.

6.3. Utilizarea materialelor geosintetice ca straturi de separare sub platforme pavate

Într-un sistem rutier pavat, a cărui rigiditate este mult superioară celui nepavat, materialele geosintetice pot fi folosite în general în următoarele cazuri:

- la contactul între stratul macrogranular de bază și terenul de fundare;
- la baza stratului de uzură al drumului;
- sub îmbrăcămintea de consolidare a drumurilor pavate degradate.

6.3.1. Plasat la interfața stratului de fundație din agregate al stratului rutier cu terenul de fundare din pământ coeziv, stratul geosintetic are rolul de a preveni eventualele deformații pe verticală (tasări) ale terenului, precum și contaminarea cu particule fine din teren a stratului macrogranular. Grosimea stratului de separare depinde de greutatea vehiculelor (exprimată prin încărcarea de referință în kN/osie), intensitatea traficului (exprimată prin numărul de treceri pe durata de exploatare) și de capacitatea portantă a terenului (exprimată de regulă prin valoarea indicelui de capacitate portantă).

Se recomandă ca la proiectare să se utilizeze metoda Giroud-Noiray, expusă la pct. 6.2.1. al acestui ghid.

Se recomandă ca materialul geosintetic folosit ca strat de separare să aibă rezistența la tracțiune egală cu cel puțin 70...80 kN/m, la o deformație specifică de 10...15%. Sub forma de geogriile, materialele geosintetice pot asigura reducerea cu o treime a grosimii stratului de bază al sistemului rutier sau, ca o alternativă, prelungirea de 3 ori a duratei de exploatare. În aceste cazuri, rolul geosinteticelor este de ranforsare și nu de separare.

6.3.2. Inerat la baza stratului de uzură al drumului pavat, materialul geosintetic prezintă următoarele avantaje:

- reducerea crăpăturilor din eforturi de încovoiere;
- micșorarea degradărilor de suprafață;
- reducerea crăpăturilor de oboseală.

Aplicarea acestor materiale este indicată îndeosebi în sectoarele rutiere cele mai solicitate - apropierile de intersecții, căile rezervate autobuzelor, piste de aterizare.

Materialele geosintetice nu pot corecta deficiențele de execuție sau degradările produse de îngheț.

La proiectare se va avea în vedere satisfacerea următoarelor condiții de calitate:

- rezistența la temperatura de punere în operă a îmbrăcămintilor asfaltice;
- rezistența și rigiditate ridicată la tracțiune;
- rezistența apreciabilă la solicitări ciclice;
- o bună conlucrare cu mixturile bituminoase.

Materialele cele mai indicate în acest domeniu sunt geotextilele țesute și geogriile. Dintre acestea se vor alege cele confecționate din polipropilena, capabilă să reziste la temperaturi ridicate.

6.3.3. Folosite la suprafața drumurilor degradate, straturile geosintetice au proprietăți și funcțiuni mult diferite de cele menționate mai sus. Rolul lor principal este prevenirea pătrunderii umidității în straturile inferioare, fisurate, ale sistemului rutier. În consecință este necesar ca tratamentul ce se aplică stratului în care se înglobează geosinteticul să-l impregneze până la saturație și pe acesta din urmă, spre a deveni impermeabil. Un element geosintetic saturat numai parțial cu bitum favorizează absorbția apei și poate accelera deteriorarea straturilor aflate dedesubt.

[\[top\]](#)

7. PROIECTAREA LUCRĂRILOR ÎN CARE MATERIALELE GEOSINTETICE AU ROL DE RANFORSARE (ARMARE)

Utilizarea materialelor geosintetice ca elemente de armare în lucrările de pământ impune satisfacerea unor condiții speciale de rezistență și deformabilitate, precum și conservarea performanțelor inițiale pe perioade îndelungate.

Lucrările de pământ au durate de exploatare ce pot depăși 100 de ani. În construcțiile din pământ armat, ruperea unei singure armături poate antrena cedarea rapidă a întregii lucrări. Din acest punct de vedere, materialele geosintetice au față de metale avantajul unei deformabilități mult mai mari. Dacă, datorită unei proiectări incorecte sau schimbării neprevăzute a condițiilor de solicitare, eforturile în armături se apropie de cele de rupere, ele sunt însoțite, în cazul materialelor geosintetice, de alungiri mari, care au ca urmare deformarea structurii și redistribuirea eforturilor în interiorul masivului, față de ceea ce ar fi cedat brusc.

În principiu, metodele de proiectare a lucrărilor armate cu geosintetice sunt similare cu cele utilizate pentru lucrările prevăzute cu armături tradiționale (metalice); deosebirile provin din forma de prezentare și din însușirile fizice și mecanice diferite. În consecință, pentru fiecare caz în parte se vor alege tipodimensiunile adecvate.

Proiectarea lucrărilor de pământ ranforsate cu geosintetice include examinarea următoarelor aspecte:

- a) Curgerea lentă a geosinteticelor;
 - b) Degradările posibile în timpul execuției;
 - c) Calității mecanice ale pământului de umplură din corpul lucrării.
- a) Curgerea lentă depinde de compoziția chimică a materialului și metoda de fabricație. Astfel, geogriile sunt mult mai deformabile decât geotextilele, mai ales cele țesute. Prin încercări de laborator se determină pentru fiecare tip de material o rezistență caracteristică în funcție de durata de exploatare. În multe cazuri, raportul între rezistența pe termen scurt și cea pe termen lung poate fi egal cu 2 sau 3, de aceea la proiectare este necesară cunoașterea variației în timp a rezistenței. De asemenea, un geosintetic poate trece în timp de la un mod de rupere *ductil* (cu deformații mari înainte de rupere) la un mod de rupere *fragil* (brusc), mult mai periculos pentru siguranța lucrării.
- b) Datorită solicitărilor la care sunt supuse în cursul punerii în operă și al compactării umplurii, elementele geosintetice pot suferi degradări. Această eventualitate va fi avută în vedere la proiectare, prin reducerea rezistenței caracteristice sau normale printr-un coeficient de siguranță parțial K_p , care depinde de caracteristicile materialului și cele ale umplurii. În tabelul 7.1 sunt cuprinse valorile orientative ale coeficientului K_p pentru două tipuri de geogrii cu grosimi diferite.

Tabelul 7.1

Dimensiunea maximă a particulelor din umplură	Coeficientul de siguranță parțial K_p pentru:	
	Grila A grosime 0,95 mm	Grila B grosime 2,10 mm
125 mm	1,70	1,40

20 mm	1,25	1,10
2 mm	1,15	1,05

Coeficientul de siguranță parțial intervine în relația:

$$R = R^n / K_p \quad (7.1)$$

în care R este rezistența de calcul și R^n rezistența normală sau medie, determinată experimental. Se observă că gradul de asigurare crește pe măsură ce coeficientul K_p este mai mare.

De asemenea, temperatura medie a umpluturii în care este înglobat geosinteticul influențează rezistența sa în timp. Astfel, pentru o durată de exploatare a lucrării de 120 ani, rezistența de calcul pentru o temperatură medie de 20°C este mai redusă cu 5...10% în raport cu cea corespunzătoare temperaturii de 10°C.

c) Umplutura în masivele de pământ ranforsate cu geosintetice este, de regulă, alcătuită din nisip compactat, care prezintă două valori caracteristice ale rezistenței la forfecare, în funcție de deformații: rezistența maximă sau de vârf, căreia-i corespunde un unghi de frecare internă ϕ_{max} și o deformație specifică de ordinul a 6%, și rezistența reziduală, mai mică decât prima, căreia-i corespunde un unghi de frecare internă ϕ_{rez} , pentru deformații specifice mai mari. În consecință, dacă într-o lucrare se va utiliza un material geosintetic cu alungire specifică în exploatare de 10...12%, în calcul se va considera unghiul ϕ_{rez} .

7.1. Calculul masivelor de pământ cu parament vertical reanforsate cu geotextile

Din punct de vedere constructiv, masivele de pământ ranforsate cu geosintetice reprezintă o extindere a tehnicii lucrărilor de pământ armat. Deosebirea constă în faptul că armăturile în forma de benzi metalice din lucrările de pământ armat sunt înlocuite, la pământul ranforsat cu geotextile, prin pânze sau folii continue. Prezența benzilor discontinue generează o stare spațială de eforturi în masiv, favorizând dilatanta materialului granular, care sporește frecarea între umplutură și armături. În cazul geotextilelor, dilatanta nu mai este atât de importantă, întrucât suprafața de contact între umplutură și elementele de ranforsare este mai mare.

Referitor la rezistența la tracțiune, este posibilă producerea de geotextile cu performanțe superioare; sub raportul rigidității însă, materialele geosintetice au deformații de zeci de ori mai mari decât armăturile metalice, fapt care face ca masivul ranforsat să fie mult mai deformabil sau să necesite cantități mult mai importante de armătură.

Comportarea în timp a masivelor ranforsate cu geotextile este mult îmbunătățită, dacă se previne creșterea presiunii interstițiale printr-o bună drenare. Din acest punct de vedere, rezultatele cele mai bune se obțin cu geotextile neșesute sau cu elemente compozite, care au atât rezistența la tracțiune, cât și transmisivitate ridicată; frecarea între umplutură și armături rămâne mare, asigurându-se totodată consolidarea în timp a masivului și eliminarea apei eventual infiltrate în umplutură.

Pentru masivele de pământ armat limitate prin parament vertical, numite în mod curent ziduri de pământ armat, folosirea în loc de armături metalice a materialelor geosintetice, mult mai deformabile, a permis extinderea domeniului de aplicare, mai ales pe terenuri de fundare compresibile.

Metodele de proiectare a zidurilor de pământ armat se bazează pe ipoteza stării de echilibru limită, luând în considerare diferite moduri de cedare a structurii sau a terenului. Aceste moduri constau în:

- pierderea stabilității externe;
- pierderea stabilității interne.

7.1.1. Analiza *stabilității externe* consideră masivul armat ca un element unitar, omogen, cedarea având loc prin pierderea echilibrului masivului în raport cu terenul înconjurător ([Fig. 7.1](#)) astfel:

- a) prin alunecare generală (rotațională);
- b) prin cedarea terenului de fundare;
- c) prin alunecare pe talpa;
- d) prin răsturnare.

a) Calculul la alunecarea generală a terenului prezintă interes atunci când lucrarea de pământ armat este situată pe o suprafață în pantă (versant). În astfel de condiții există posibilitatea ca o porțiune din versant să cedeze prin alunecare de-a lungul unei suprafețe cu directoarea în arc sau cu altă formă, în funcție de condițiile litologice locale.

Calculul se efectuează aplicând o metodă curentă de analiză a stabilității pantelor (Fellenius, Bishop, Lazard etc.); coeficientul de siguranță din acest punct de vedere trebuie să fie de cel puțin 1,5.

b) Verificarea la cedare prin depășirea capacității portante a terenului de fundare se face calculând presiunea exercitată de lucrarea armată la baza sa, pe suprafața de contact cu terenul. Conform schemei din [figura 7.2](#), pentru un masiv armat cu înălțimea H , lățimea L și o suprasarcină q uniform distribuită, valorile extreme ale presiunii la bază se determină cu relația:

$$p_{\max} = \gamma_u H + q \pm \frac{K_a H^2 (\gamma \cdot H + 3q)}{L^2} \quad (\text{kPa}) \quad (7.2)$$

în care:

γ - greutate volumică a pământului din spatele masivului;

γ_u - greutatea volumică umpluturii compactate în corpul masivului, între armături;

K_a - coeficientul de împingere activă al pământului din spatele masivului.

Presiunea convențională de calcul a terenului (stabilită conform STAS 3300-85) fiind p_{conv} , verificarea la capacitatea portantă a terenului se face prin satisfacerea relațiilor:

$$p_{med} \leq p_{conv}$$

$$p_{med} \leq 1,2 p_{conv} \text{ și } p_{min} \geq 0 \quad (7.3)$$

c) Verificarea la alunecare pe talpă a masivului armat constă în calculul coeficientului de siguranță F_{s1} ca raport între forța rezistivă de frecare dezvoltată la baza lucrării și rezultanta împingerii active exercitate de pământul din spatele masivului. Notând cu G greutatea masivului armat și cu P_a împingerea activă pe o lungime unitară de masiv, cu notațiile din relația (7.2), acest coeficient este dat de expresia:

$$F_{s1} = \frac{G \operatorname{tg} \phi}{P_a} = \frac{2(\gamma_u H + q) \operatorname{tg} \phi}{K_a (\gamma_u \cdot H + 2q)} (L/H) \quad (7.4)$$

în care ϕ este unghiul de frecare internă al terenului.

Condiția ce trebuie satisfăcută în proiectare este:

$$F_{s1} \geq 1,5 \quad (7.5)$$

d) Verificarea la răsturnare se efectuează considerând posibilitatea rotirii masivului armat în jurul muchiei aval a bazei, sub acțiunea împingerii active din spate. Cu notațiile din relațiile anterioare, coeficientul de siguranță la răsturnare F_{sr} se determină cu relația:

$$F_{sr} = \frac{3(\gamma_u H + q)}{K_a (\gamma_u \cdot H + 3q)} (L^2 / H^2) \quad (7.6)$$

Condiția de verificare în proiectare este:

$$F_{s1} \geq 2,0 \quad (7.5)$$

7.1.2. Analiza *stabilității interne* admite două moduri de cedare a masivului armat (Fig. 7.3); Prin ruperea armăturilor (a) sau prin smulgerea armăturilor (b). La acestea se adaugă și o verificare la alunecare pe stratul inferior de armătură (c) (nereprezentată în figură).

Rezultatele obținute prin calcul trebuie să respecte următoarele valori limită, deduse din experiența practică (Fig. 7.4):

- lungimea minimă L_{min} a armăturilor este $0,8H$, dar nu mai puțin de 5 m (H fiind înălțimea totală a lucrării);
- lungimea armăturilor poate fi redusă în trepte de jos în sus, dar nu cu mai mult de jumătate din înălțimea h a treptei inferioare respective;
- adâncimea sub teren a bazei masivului armat, D_f (adâncimea de fundare) este de minimum $0,1H$.

a) Calculul la cedare prin ruperea armăturilor se face admitând ca, în ipoteza unor distanțe egale pe verticală între armături, pe toată înălțimea lucrării, solicitările maxime de tracțiune au loc în stratul de la bază. În consecință, coeficientul de siguranță se verifică numai pentru acest nivel. În caz contrar, verificarea se face pentru toate nivelurile la care distanța pe verticală între armături se schimbă, ca, de exemplu, nivelul Y din figura 7.2.

Admițând distribuția trapezoidală a împingerii active, cu notațiile din figura 7.2, împingerea laterală p_h pe paramentul lucrării, la adâncimea h de la suprafață, se calculează cu relația:

$$p_h = K_{au} (\gamma_u h + q) + K_{au} K_a (\gamma h + 3q) (h^2 / L^2) \quad (\text{kPa}) \quad (7.8)$$

în care K_{au} este coeficientul de împingere activă al umpluturii dintre armături.

Notând distanța pe verticală dintre armături cu d_v , forța de tracțiune în armături T pe metru liniar de zid, la adâncimea h , rezultă:

$$T = K_{au} d_v (\gamma_u h + q) + K_{au} d_v K_a (\gamma h + 3q) (h^2 / L^2) \quad (\text{kN/m}) \quad (7.9)$$

iar coeficientul de siguranță la tracțiune va fi:

$$F_s = T_{adm} / T \quad (7.10)$$

în care T_{adm} este rezistența admisibilă la tracțiune, pe metru liniar, a armăturii geosintetice.

Considerând o durată de exploatare de 120 ani, pentru masivele armate cu geotextile, prevăzute la baza sistemelor rutiere, coeficientul de siguranță în raport cu rezistența la rupere se ia egal cu 3,0; pentru lucrări cu durata mai mică și supuse la solicitări mai mici, coeficientul respectiv poate fi redus până la 1,5.

b) Calculul la cedare prin smulgerea armăturilor în urma depășirii rezistenței la frecare pământ/armătură pe întreaga lungime a armăturilor se face admițând ca în practică o astfel de situație nu provoacă prăbușirea imediată a lucrării; este de aceea suficient să se verifice ca armăturile din zona respectivă pot prelua, prin redistribuire, solicitările suplimentare.

Frecarea dezvoltată pe o foaie de geotextil, F_T , pe metru liniar de zid, la adâncimea h , se calculează cu relația:

$$F_T = 2L (\gamma_u h + q) \text{tg} \phi_g \quad (\text{kN/m}) \quad (7.11)$$

în care ϕ_g este unghiul de frecare între armătură și umplutură.

Dacă armăturile geosintetice sunt în formă de benzi:

$$F_T = 2bn (\gamma_u h + q) \text{tg} \phi_g \quad (\text{kN/m}) \quad (7.12)$$

în care b este lățimea unei benzi (m) și n - numărul benzilor pe metru liniar de zid (m^{-1}).

Coeficientul de siguranță la smulgere se determină cu relația:

$$F = F_T / T \quad (7.13)$$

în care T este dat de relația (7.9). Valoarea minimă a acestui coeficient este 2,0.

c) La masivele ranforsate cu geotextile se efectuează și o verificare la alunecare pe ultimul strat de armături, care este cel mai solicitat, și a cărei alunecare poate provoca deplasarea întregului masiv. Dacă toate armăturile au aceeași lungime, verificarea la bază este suficientă. Dacă se adoptă mai multe lungimi, verificarea se face pentru ultimul strat al fiecărei porțiuni cu o anumită lungime.

Frecarea dezvoltându-se numai pe fața inferioară a stratului (Fig. 7.5), rezistența la alunecare este dată de relația:

$$R_1 = (\gamma_v h + q)L \cdot \operatorname{tg} \phi_g \quad (7.14)$$

iar coeficientul de siguranță din acest punct de vedere F_s rezultă dintr-o relație asemănătoare cu relația (7.4):

$$F_s = \frac{2(\gamma_v h + q) \operatorname{tg} \phi_g}{K_a (\gamma_v h + 2q)} (L/H) \geq 1,5 \quad (7.15)$$

Rezistența pasivă P_p la baza paramentului se neglijează.

7.2. Calculul masivelor de pământ cu parament vertical ranforsate cu geogriile

Printre materialele geosintetice utilizate ca elemente de ranforsare în lucrările de pământ, geogriile au căpătat o mare extindere, datorită structurii lor specifice reticulare, care permite o interacțiune directă cu particulele din pământ, având ca rezultat sporirea rezistenței la smulgere.

Ca și geotextilele, geogriile se utilizează în straturi orizontale. Distanța între straturi poate fi constantă; de regulă însă, ea variază pe porțiuni, fiind mai mică în zona inferioară a masivului, unde solicitările sunt mai mari.

Calculul la *stabilitate externă* se face conform principiilor avute în vedere la zidurile rigide, enunțate la pct. 7.1 al acestui ghid, și anume:

verificarea la alunecare generală, la capacitatea portantă a terenului de fundare, la alunecare pe talpă și la răsturnare în jurul bazei paramentului.

Referitor la verificarea la alunecare generală se va examina, după caz, și posibilitatea cedării pe suprafețe care includ baza masivului sau chiar care traversează masivul, de-a lungul unui strat de geogrilă (Fig. 7.6).

Valorile extreme ale presiunii pe terenul de fundare sunt date, cu notațiile de la pct. 7.1, de relația (Fig. 7.7):

$$p_{\max} = (\gamma_v H + q) \pm K_a (\gamma \cdot H + 3q) \left(\frac{H^2}{L^2} \right) \quad (\text{kPa}) \quad (7.2)$$

min

Și în acest caz, pentru un teren de fundare având presiunea convențională de calcul P_{conv} este necesară îndeplinirea condițiilor:

$$p_{med} \leq p_{conv}$$

$$p_{\max} \leq 1,2p_{\text{conv}} \text{ și } p_{\min} \geq 0 \quad (7.3)$$

Calculul la *stabilitate internă* conduce la dimensionarea masivului, prin determinarea lungimii geogrilelor și dispunerii acestora în corpul masivului, în condițiile realizării unei umpluturi de calitate corespunzătoare între rândurile de geogri.

a) Calculul la cedare prin ruperea armăturilor în cazul unui masiv cu suprafața orizontală, având înălțimea H și o suprasarcină q , prevede determinarea forței de tracțiune în geogriile T_i la adâncimea h_i de la suprafața (Fig. 7.8) - masivul fiind alcătuit din pământ necoeziv - cu expresia:

$$T_i = K_{au} \left[\gamma_u h_i + q + K_a (\gamma \cdot h_i + 3q) \left(h_i^2 / L^2 \right) \right] \quad (\text{kN/m}) \quad (7.16)$$

Dacă pământul de umplură este coeziv, se aplică expresia:

$$T_i = K_{au} \left[\gamma_u h_i + q - \left(c'_u / \sqrt{K_{au}} \right) + K_a (\gamma \cdot h_i + 3q) \left(h_i^2 / L^2 \right) \right] d_v \quad (\text{kN/m}) \quad (7.17)$$

în care c'_u este coeziunea efectivă a umpluturii, iar d_v distanța pe verticală între două rânduri succesive de armături.

Dacă relațiile (7.16) și (7.17) sunt puse sub forma:

$$T_i = F a_v \quad (\text{kN/m}) \quad (7.18)$$

și se pune condiția ca forța de tracțiune T_i să nu depășească rezistența de calcul la tracțiune R_t a geogrilelor (kN/m), distanța pe verticală între două rânduri succesive de geogri rezultă:

$$d_{v\max} = R_t / F \quad (\text{m}) \quad (7.19)$$

Se observă că forța T_i crește atunci când adâncimea h_i crește sau lungimea armăturilor L scade. La masivele înalte se poate varia, pe porțiuni verticale, fie distanța pe verticală d_v , fie lungimea L , fie ambii parametri, în funcție de condițiile locale, cu satisfacerea relațiilor de mai sus.

b) Calculul la cedare prin smulgerea armăturilor se efectuează determinând, pentru masivele cu suprafața orizontală și suprasarcina q , valoarea rezistenței de ancorare T_{ai} , a unui element de ranforsare din geogriile situate la adâncimea h_i , de la suprafață. Conform figurii 7.8, se consideră că masivul este separat de către planul potențial de cedare în două zone: zona activă spre exterior și zona pasivă sau de rezistență spre interior. Cu notațiile din figură, rezistența de ancorare T_{ai} se determină cu relația:

$$T_{ai} = \frac{2\alpha L_i \text{tg} \phi'_u (\gamma_u h_i + q)}{F_s} \quad (\text{kN/m}) \quad (7.20)$$

în care ϕ'_t este unghiul efectiv de frecare intern al umpluturii dintre armături, F_s este un coeficient de siguranță care se ia egal cu 2,0, iar α este un coeficient de interacțiune, care se determină experimental pentru diferite pământuri de umplură și diferite tipuri de geogri. La aplicarea relației (7.20), valoarea coeficientului α se poate lua, orientativ, astfel:

$\alpha = 0,9 \dots 1,0$ pentru pietriș și balast;

$\alpha = 0,85 \dots 0,95$ pentru nisipuri;

$\alpha = 0,6 \dots 0,7$ pentru pământuri coezive.

Considerând prisma formată de zona activă reprezentată în figura 7.8, și notând cu G greutatea pe metru liniar a acestei prisme, forța totală de tracțiune ce revine armăturilor este dată de:

$$T = \frac{G}{\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\phi'_u}{2}\right)} \quad (7.21)$$

O ultimă verificare la smulgere constă în compararea acestei forțe totale T cu suma forțelor ce revin tuturor rândurilor de armături, $\sum T_{ai}$. În acest sens trebuie satisfăcută relația:

$$\sum T_{ai} \geq T \quad (7.22)$$

7.3. Ranforsarea rambleelor cu pante abrupte

În situațiile în care se dorește ca panta taluzurilor unui rambleu din pământ necoeziv sau slab coeziv să fie mai mare decât panta taluzului natural, rambleul poate fi ranforsat cu material geosintetic. Preluând eforturile de tracțiune interioare, foliile geosintetice (din geotextil) realizează o coeziune internă, permițând mărirea pantei.

Schema de calcul (Fig. 7.9) considera secțiunea unui rambleu ranforsat cu straturi orizontale de geotextil și având un unghi de pantă β mai mare decât unghiul de frecare internă ϕ al pământului necoeziv din corpul rambleului.

Masivul are înălțimea H și este prevăzut cu o suprasarcină uniform distribuită q pe platforma superioară. Cu notațiile din figură, greutatea G a prismei ADC, inclusiv suprasarcina aferentă, este:

$$G = (1/2)\gamma \cdot H^2 (\operatorname{ctg}\phi - \operatorname{ctg}\beta) + qH (\operatorname{ctg}\phi - \operatorname{ctg}\beta) \quad (\text{kN/m}) \quad (7.23)$$

Forța normală N pe planul AC se obține cu:

$$N = G \cos\phi = (1/2\gamma \cdot H^2 + qH)(\operatorname{ctg}\phi - \operatorname{ctg}\beta) \cos\phi \quad (\text{kN/m}) \quad (7.24)$$

iar forța de frecare F acționând pe același plan este dată de:

$$F = N \operatorname{tg}\phi = (1/2\gamma \cdot H^2 + qH)(\operatorname{ctg}\phi - \operatorname{ctg}\beta) \sin\phi \quad (\text{kN/m}) \quad (7.25)$$

Componenta tracțiunii T în geotextil pe planul AC în sus este:

$$\sum T \cos\phi$$

Din combinarea relațiilor de mai sus se obține expresia coeficientului de siguranță F_s la alunecare pe planul AC:

$$F_s = 1 + \frac{\sum T}{(1/2\gamma \cdot H^2 + qH)(\text{ctg}\phi - \text{ctg}\gamma) \text{tg}\phi} \quad (7.26)$$

În cazul când rambleul nu este armat, $\sum T = 0$ și $F_s = 1,0$, deci masivul se află la starea limită de cedare prin alunecare pe planul AC, înclinat cu unghiul ϕ față de orizontală.

valoarea $\sum T$ din relația (7.26) se obține însumând cele mai mici forțe rezistive pe porțiunile situate dincolo de planul AC pentru fiecare strat de armătură. Pentru geotextilele puțin deformabile (cu deformații specifice la rupere ε nedepășind $15 \pm 20\%$) rezistența admisibilă la tracțiune se ia egală cu un sfert până la o treime din rezistența la rupere, în funcție de deformațiile admise. Pentru geotextile deformațiile se are în vedere rezistența corespunzătoare duratei de exploatare prevăzute. Într-o primă aproximație lungimea de ranforsare se ia egală cu 60% din înălțimea rambleului. Valoarea coeficientului de siguranță este de cel puțin 1,5.

Pentru asigurarea față de ruperea armăturilor prin tracțiune se calculează forța T la care trebuie să reziste fiecare strat de armătură, cu relația:

$$T = K_a d_v (\gamma \cdot h' + q) \quad (\text{kN/m}) \quad (7.27)$$

în care K_a este coeficientul împingerii active a pământului din rambleu, d_v distanța pe verticală între două straturi succesive de armături, iar h' adâncimea până la mijlocul stratului de pământ dintre armătura considerată și cea următoare.

Cu notațiile din figura 7.9, valoarea coeficientului K_a se determină cu relația:

$$K_a = \left[\frac{\sin(\beta - \phi)}{(\sin\beta - \sin\phi)\sqrt{\sin\beta}} \right]^2 \quad (7.28)$$

Pentru masivele ranforsate la care paramentul este alcătuit tot din geotextilul folosit ca armătură, prin rabaterea sa în sus și îngroparea pe o anumită lungime L în stratul de umplură de deasupra, este posibil ca împingerea laterală a pământului spre exterior să fie atât de mare încât să smulgă această porțiune din masiv. În acest caz, cedarea lucrării are loc prin „smulgerea paramentului”. Coeficientul de siguranță respectiv se calculează cu relația:

$$F_s = \frac{2L_a \text{tg}\phi_g}{K_a d_v} \quad (7.29)$$

în care ϕ_g este unghiul de frecare între pământ și armătură.

Valoarea coeficientului F_s la această verificare se ia de cel puțin 2,0.

[\[top\]](#)

8. PROIECTAREA LUCRĂRILOR ÎN CARE MATERIALELE GEOSINTETICE AU ROL DE ETANȘARE

Materialele geosintetice folosite ca elemente de impermeabilizare sau etanșare în construcții fac parte din categoria geomembranelor. Ele formează *căptușeli*, dacă sunt plasate la suprafața sau interfața unor îmbrăcămînți (de canal, bazin etc.) sau ecrane, în cazul când sunt înglobate în interiorul unor masive de pământ (baraje, ramblee etc.).

Geomembranele se confecționează din materiale plastice sau bituminoase și se folosesc fie ca atare, fie ranforsate cu țesături (geotextile). Coeficientul de permeabilitate al geomembranelor este de ordinul a 10^{-1} cm/s. În funcție de natura polimerului de bază, în compoziția geomembranelor pot intra diverși aditivi - fileri, fibre - care le îmbunătățesc, după necesități, anumite proprietăți - rezistență, rigiditate, lucrabilitate - sau le reduc costul, fără a le spori permeabilitatea. Introducerea în compoziție a negrului de fum conferă geomembranelor o culoare neagră, ceea ce le face rezistente la lumina și în special la radiațiile ultraviolete. De asemenea, adăugarea unor substanțe fungicide mărește rezistența față de atacul microorganismelor existente în pământ.

Ranforsarea, mai ales cu geotextile țesute, a geomembranelor are ca scop sporirea durabilității, diminuarea deformațiilor din temperatură, creșterea rezistenței la solicitări mecanice în timpul transportului și punerii în operă, precum și mărirea modulului de deformație în cursul exploatării. În afară de pânze țesute, ca elemente de ranforsare se folosesc și geotextile nețesute, rețele sau chiar împletituri.

O atenție deosebită se va acorda asigurării continuității straturilor de etanșare cu geomembrane prin înnădire. Procedeele de înnădire depind de compoziția chimică a materialului. Pentru membranele polimerice se aplică, de regulă, una din următoarele metode:

- încălzirea, folosindu-se aer supraîncălzit sau o lamă metalică fierbinte;
- sudura la cald;
- lipirea cu substanțe chimice - adezivi, solvenți, cimenturi etc.;
- vulcanizarea, cu sau fără benzi adezive.

Procedeele bazate pe temperaturi ridicate se aplică numai la membranele termoplastice.

8.1. Clasificarea geomembranelor. Domenii și condiții de aplicare

În funcție de elementele componente și de locul aplicării, geomembranele se clasifică în următoarele categorii:

1. Geomembrane nearmate, executate pe loc (prin pulverizare, stropire etc.) cu grosimi cuprinse, de regulă, între 3 și 8 mm;
2. Geomembrane armate (ranforsate) executate pe loc, cu grosimi cuprinse între 3 și 8 mm;
3. Geomembrane nearmate, prefabricate, care se înnădesc și se pun în operă pe șantier. Grosimea lor variază între 0,25 și 4 mm pentru cele confecționate prin extrudare și între 0,25 și 2 mm pentru cele produse prin calandrare;

4. Geomembrane armate, prefabricate. Cele pe bază de polimeri au între 0,75 și 1,5 mm grosime, iar cele din materiale asfaltice sunt mult mai groase - între 3 și 10 mm.

Proiectarea lucrărilor de protecție cu geomembrane necesită prospecțiuni geotehnice prealabile foarte atente și detaliate pentru stabilirea naturii și stării terenului pe care se va așterne căptușeala, cu evidențierea eventualelor neregularități ale suprafeței, fisuri, crăpături și caverne, posibilități de drenare sau colmatare, pericole de afuiere etc.

În general, la proiectare se va ține seama de faptul că geomembranele sunt foarte subțiri și maleabile; ele pot fi ridicate și deplasate de vânt, de efectul de subpresiune al eventualelor ape ascendente sau gaze din teren; pot fi ușor degradate de acțiuni mecanice prin perforare, agățare erodare de către pietre ascuțite, obiecte care cad, corpuri plutitoare, sloiuri, de vegetația care crește sub ele și le străpunge, sau chiar acte de vandalism.

Din punctul de vedere al proprietăților mecanice, geomembranele se împart în două categorii:

- materiale cu rezistență ridicată și deformabilitate redusă, precum geomembranele ranforsate cu țesături sau rețele (cu alungiri la rupere de cca. 20%) sau geomembranele rigide (cu alungiri la rupere de cca. 10%);
- materiale neranforsabile, cu rezistențe la tracțiune relativ reduse, însă cu alungiri la rupere mari sau foarte mari (peste 100%).

Proiectantul va stabili pe de o parte gama de eforturi și deformații specifice fiecărui caz, iar pe de alta proprietățile mecanice și comportarea în exploatare a geomembranelor disponibile; în anumite cazuri se va cere testarea suplimentară a materialului, în raport cu necesitățile proiectului.

Controlul de calitate al execuției va fi minuțios. Se vor verifica, printre altele, absența agregatelor mari și colțuroase în contact cu geomembrana, calitatea acesteia la punerea în operă, instalarea, în unele cazuri, a membranei cu o anumită relaxare (joc) pentru compensarea unor posibile tensiuni ulterioare. Operația de înnădire se va verifica în mod scrupulos, calitatea impecabilă a înnădirilor fiind o condiție indispensabilă a reușitei lucrării.

La pregătirea patului pentru așternerea membranei se va îndepărta eventualul strat de material moale, cu conținut organic, precum și fragmentele pietroase mari. Acestea se vor înlocui cu pământ compact de bună calitate, într-un strat suficient de gros pentru a nu fi deteriorat sau îndepărtat în timpul execuției sau exploatarei. Suprafața astfel pregătită nu trebuie să prezinte denivelări sau neregularități locale mai mari decât 15 mm.

În cazul căptușirii canalelor, bazinelor sau altor lucrări asemănătoare, cu geomembrane acoperite cu un strat de protecție din pământ, panta taluzurilor laterale nu va fi mai mare de 1 : 3, din următoarele considerente:

- înclinarea de 1 : 3 este cea mai mare care asigură stabilitatea stratului protector, chiar în cazul unei scăderi rapide a nivelului apei în canal;
- la această înclinare, eforturile tangențiale dezvoltate în membrană datorită suprasarcinii reprezentate de stratul acoperitor rămân în limite acceptabile;
- la panta 1 : 3, riscul de rupere a membranei datorită curgerii lente a pământului de deasupra este minim.

Se recomandă ca proiectul să prevadă, ca indicații de execuție, realizarea prealabilă a unor panouri cu dimensiuni cât mai mari, asamblate în prealabil, care să fie transportate ca atare pe șantier. În felul acesta se va reduce la minimum numărul și lungimea înădărilor efectuate pe amplasament, înădări care reclamă manoperă de înaltă calificare și constituie adeseori surse de pierderi de apă prin membrană.

Stratul acoperitor de protecție, executat deasupra geomembranei are, printre altele, următoarele funcțiuni:

- prevenirea efectului agresiv al ozonului atmosferic și al radiațiilor ultraviolete asupra membranei;
- evitarea degradării de către animale, plante sau răufăcători, a deplasărilor datorită vântului, valurilor, sloiurilor etc..

Materialul care constituie stratul acoperitor trebuie să aibă, printre altele următoarele proprietăți:

- să fie suficient de permeabil spre a-și păstra stabilitatea în cazul scăderii rapide a nivelului apei;
- să reziste la efectul eroziv al curentului apei și al valurilor.

Se recomandă, pentru acest strat, un balast din pietriș variat cu conținutul de maximum 20% nisip mare. Grosimea stratului nu va fi mai mică decât 25...30 cm.

După caz, deasupra sau sub geomembrană pot fi prevăzute straturi de geotextil cu rol de protecție mecanică sau respectiv de drenare și colectare a apei exfiltrate prin membrană.

8.2. Principii de proiectare a impermeabilizărilor cu geomembrane

8.2.1. Evaluarea pierderilor prin exfiltrare și măsuri de prevenire

Din cantitatea totală de apă care traversează bariera geosintetică, o parte se datorează permeabilității acesteia, iar restul orificiilor existente în membrană. Aceste orificii sunt de două categorii, în funcție de dimensiunile lor:

- înțepături sau pori, cu dimensiuni mult mai mici decât grosimea membranei;
- găuri, cu dimensiuni ce depășesc grosimea membranei.

Evaluarea debitului filtrat are la bază legea Darcy. Înțepăturile sunt considerate mici tuburi și li se aplică ecuația Poiseuille, iar găurile sunt socotite deschideri în pereții membranei, debitele fiind calculate cu ecuația Bernoulli.

Experiența a arătat că, din valoarea pierderilor totale, debitul ce corespunde permeabilității membranei este extrem de mic și poate fi neglijat; de asemenea, debitul pierdut prin pori este foarte redus (cu condiția ca frecvența porilor să nu fie mare - în caz contrar, membrana iar fi inutilizabilă) și, în consecință, se neglijează. Rămâne debitul pierdut prin găuri Q , care se calculează cu relația:

$$Q = 0,85aNA\sqrt{2gh} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (8.1)$$

în care: a - suprafața medie a unei găuri (m^2);

N - numărul mediu de găuri pe metrul pătrat de membrană (m^2);

A - suprafața totală a membranei, proiectată pe orizontală (m^2);

g - accelerația gravitațională ($= 9,81 \text{ m/s}^2$);

H - înălțimea medie a lichidului aflat deasupra membranei (m);

0,85 - este valoarea recomandată a coeficientului adimensional din ecuația Bernoulli.

Pentru ca etanșarea cu geomembrană să fie pe deplin eficientă, în proiectare se pot adopta variante cu două sau trei rânduri de membrană.

Căptușeala dublă constă din două straturi impermeabile între care se intercalează un strat de drenaj din material granular, în legătură cu o conductă perforată și un cămin de unde lichidul exfiltrat este eliminat gravitațional sau, mai adesea, prin pompă intermitentă (Fig. 8.1). Ca exemplu, în figură se prezintă schematic (a) căptușeala pentru un iaz sau bazin și (b) pentru un depozit de deșuri obișnuite. Dacă sistemul de drenaj este bine realizat și membranele sunt de bună calitate, înălțimea lichidului și debitul circulat între cele două straturi vor fi întotdeauna foarte mici, stratul drenant servind mai ales pentru determinarea exfiltrațiilor. Se recomandă ca membrana inferioară să nu aibă nici o porțiune orizontală, spre a se evita stagnarea lichidului pătruns prin cea superioară.

Căptușeala triplă se adoptă în situațiile în care se urmărește o etanșare practic perfectă (de exemplu la bazinele cu substanțe toxice sau radioactive). Principiul de realizare este schițat în figura 8.2 - în (a) pentru rezervoare de lichid și în (b) pentru deșuri solide. Spațiul dintre stratul superior și cel intermediar de căptușeală se umple cu un mediu granular care conține același lichid cu cel din rezervor sau un lichid având aceeași densitate, însă necontaminat. În aceste condiții, debitul exfiltrat este practic nul, întrucât diferența de presiune este foarte mică. Scurgeri se pot produce doar prin membrana intermediară; ele sunt colectate pe cea inferioară, de unde sunt evacuate și eventual reciclate.

8.2.2. Calculul înnădirilor

La proiectarea înnădirilor, un aspect important se referă la rezistența mecanică a acestora, realizate prin lipire sau coasere. Pentru evaluarea rezistenței la tracțiune se fac două încercări, schematizate în figura 8.3 și anume: (a) încercarea de forfecare și (b) de deslipire.

Încercarea de *deslipire*. Forța pe unitatea de lungime care provoacă cedarea înnădirii nu depinde de grosimea membranei, iar valoarea sa este, de regulă, de 1...3 kN/m. Această forță este mult mai mică decât rezistența la tracțiune a membranei, care variază în general între 4 și 70 kN/m. Excepție fac membranele din polietilenă de înaltă densitate, la care lipitura cu clei adeziv de bună calitate este la fel de rezistentă ca membrana însăși.

Încercarea de *forfecare*. Forța pe unitatea de lungime la care cedează prin forfecare membrana înnădită (Fig. 8.3a) reprezintă, de regulă, 80...90% din rezistența la tracțiune a membranei, atingând 100% în cazul membranelor din polietilenă de înaltă densitate.

La încercarea la forfecare, centrul lipiturii tinde să se alinieze pe direcția forței de tracțiune F (Fig. 8.4a).

Ca urmare, membrana se rotește cu un unghi δ_{\min} , definit prin:

$$\sin \delta_{\min} = H_g / S \quad (8.2)$$

în care H_g este grosimea membranei și S lățimea zonei lipite.

Pe de altă parte (Fig. 8.4a), forța pe unitatea de lățime F aplicată membranei are o componentă normală F_n pe planul lipiturii:

$$F_n = F \sin \delta_{\min} \quad (\text{kN/m}) \quad (8.3)$$

Dacă F_n este mai mare decât forța de adeziune F_{ad} , lipitura se desface. Pentru a împiedica deslipirea trebuie îndeplinită condiția următoare, dedusă din combinarea relațiilor (8.2) și (8.3):

$$S/H_g > F/F_{ad} \quad (8.4)$$

Pe baza acestei relații se determină lățimea necesară S a lipiturii, căreia i se aplică un coeficient de siguranță egal cu 1,5...2,0.

S-a constatat experimental că geomembranele armate necesită o zonă de lipire mai lată decât cele slab armate sau nearmate, la care lipirea este mai eficientă.

Din punctul de vedere al comportării la solicitări de tracțiune, geomembranele cu alungiri mari la rupere (peste 100%) sunt superioare celor rigide, întrucât pot suferi fără să cedeze eventuale deformații din timpul exploatării, deformații care rareori depășesc 50% și numai pe porțiuni limitate.

[\[top\]](#)

9. CONSIDERAȚII FINALE

Utilizarea rațională a materialelor geosintetice necesită analiza complexului de solicitări mecanice și hidraulice și a proceselor ce se dezvoltă în corpul lucrărilor sau la interfața cu mediul adiacent. În proiectare se ține seama de modificările pe care prezența geosinteticele le produce în lucrări, eventual în comparație cu variante ce folosesc alte materiale (tradiționale) cu funcții similare.

Astfel, eficiența elementelor de drenare depinde de presiunea și gradientul hidraulic din masiv, iar cea a filtrelor, de relațiile între dimensiunile porilor geosinteticului și cele ale particulelor din pământ, precum și de sensul circulației apei. Funcția de separare reclamă atât proprietăți de filtrare a fazei lichide și de reținere a celei solide, cât și o anumită rezistență mecanică și deformabilitate a stratului geosintetic.

O atenție deosebită trebuie acordată materialelor geosintetice căror li se atribuie calitatea de armătură sau element de ranforsare a masivelor. În cadrul proiectării se va evalua rezistența și rigiditatea acestora, precum și frecarea față de pământ de umplutură și de terenul de fundare.

Pentru geomembranele folosite ca elemente de etanșare se va analiza cu prioritate flexibilitatea, rezistența la tracțiune și stabilitatea în timp în prezența factorilor agresivi, chimici și biologici, din teren. Aceste calități se adaugă condiției de impermeabilitate cerută membranelor.

Extinderea utilizării materialelor geosintetice depinde și de durabilitatea acestora, însușiri care se verifică pe măsura amplificării experienței practice în domeniu.

Ținând seama de marea diversitate sortimentală a produselor din această categorie, la stabilirea tipului și dimensiunilor optime ale materialului geosintetic pentru fiecare lucrare concretă, în procesul de proiectare se va ține seama de parametrii calitativi și cantitativi ai produselor disponibile, determinați prin consultarea prospectelor și caietelor tehnice elaborate de fabricanți. În funcție de amploarea și importanța

lucrării, proiectantul poate impune, după caz, verificarea suplimentară a proprietăților materialului livrat pe șantier și a corespondenței cu specificațiile din cataloage.

Proiectantul va urmări desfășurarea lucrărilor de execuție, acordând o atenție detaliilor specifice utilizării materialelor geosintetice. De asemenea, prin proiect vor fi prevăzute, după caz, măsuri pentru urmărirea de către beneficiar a comportării lucrărilor respective în perioada de exploatare.

[\[top\]](#)

GLOSAR

Calandrare. Procedeu de fabricare a geomembranelor, constând în trecerea polimerului încălzit printr-o serie de valțuri (calandre) fierbinți. Uneori se trec simultan două foi, care în acest proces se lipesc, dând naștere unei membrane omogene, lipsite de orificii.

Extrudare. Procedeu de fabricare a geomembranelor, constând în presarea printr-o fantă a polimerului topit prin încălzire (de obicei polietilena, polipropilena) obținându-se o foaie continuă, care poate fi imediat ranforsată cu un geotextil, cât mai este caldă.

Frecare între pământ și materialul geosintetic. Proprietate definită prin unghiul de frecare ϕ_g între cele două materiale sau prin raportul între tangenta acestui unghi și tangenta unghiului de frecare internă a pământului, respectiv $f = \tan \phi_g / \tan \phi$.

Înțepare. Solicitare locală la compresiune exercitată asupra unui strat de material geosintetic, care poate duce, la limita, la străpungere a materialului (Sinonim: poansonare).

Permitivitate, simbol Ψ (s^{-1}). Proprietate a materialelor geosintetice (geotextile) care se referă la permeabilitatea acestora pe direcție normală pe planul lor, fiind definită de relația $\Psi = k_n / H_g$, în care k_n este coeficientul de permeabilitate pe direcție normală (cm/s) și H_g este grosimea materialului (cm).

Plesnire. Solicitare exercitată asupra unui strat de material geosintetic de către un fluid, nisip sau pământ coeziv moale, pe suprafețe cu dimensiuni reduse (fisuri, rosturi, găuri etc.) în condițiile în care la partea opusă a stratului geosintetic se află un gol. Stratul respectiv este supus la tracțiune, care la limită poate provoca ruperea materialului.

Rigiditate, simbol J (kN/m). Raportul între forța de tracțiune T (considerată pe metru liniar de material geosintetic) și deformația specifică reală \sum^* corespunzătoare, fiind definită de relația $J = T / \varepsilon^*$.

Smulgere. Solicitare locală de tracțiune exercitată asupra unui strat de material geosintetic, care la limită poate provoca ruperea materialului.

Tracțiune. La materialele geosintetice, rezistența la tracțiune R_T (kN/m) reprezintă raportul între forța de tracțiune la rupere T_R (kN) și lățimea materialului b (m), fiind definită de relația $R_T = T_R / b$.

Transmisivitate, simbol Θ (cm^2/s). Proprietate a materialelor geosintetice (geotextile) care se referă la permeabilitatea acestora în planul lor, fiind definită de relația $\Theta = k_p H_g$, în care k_p este coeficientul de permeabilitate în planul materialului (cm/s) și H_g este grosimea materialului (cm).

[top](#)