

CONTRIBUȚII LA STUDIUL FOLOSIRII MATERIALELOR GEOSINTETICE ÎN LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE CIVILĂ
de către

Ing. Roman Andreea Luiza

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Virgil Haida
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing Augustin Popa
prof.univ.dr.ing. George Stoicescu
prof.univ.dr.ing. Marin Marin

Ziua susținerii tezei: 18.10.2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul scolii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2013

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
Tel./fax 0256 403823
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Roman, Andreea Luiza

Titlul tezei CONTRIBUȚII LA STUDIUL FOLOSIRII MATERIALELOR GEOSINTETICE ÎN LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ

Teze de doctorat ale UPT, Seria, Nr., Editura Politehnica, 2013, 232 pagini, 138 figuri, 51 tabele.

ISSN:

ISSBN:

Cuvinte cheie: materiale plastice, geosintetice, geotextile, geogriile, geocompozite, separare, filtrare, armare, construcții rutiere și lucrări adiacente acestora, construcții de căi ferate, terasamente și structuri de sprijin, sisteme de drenaje, construcții hidrotehnice, apărare de mal și conducte, construcții de tuneluri, depozite de deșeuri, fundații pe terenuri dificile, ziduri de sprijin.

Rezumat:

Teza de doctorat cuprinde 6 capitole ce parcurg tematica folosirii materialelor geosintetice în lucrările de inginerie geotehnică, începând cu materia primă utilizată la fabricarea materialelor geosintetice și procedee de fabricare, trecând prin expunerea elaborată a tipurilor acestora, a funcțiilor și rolurilor îndeplinite precum și a unor particularități de folosire la diverse lucrări, completate cu încercări experimentale asupra unor variante de perne de fundare armate cu trei tipuri de material geosintetic și cu un studiu de caz, privind ranforsarea prin armare cu geosintetice a terasamentelor aferente unui pod rutier.

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS.....	5
Lista figurilor	8
Lista tabelelor	12
1. INTRODUCERE.....	15
1.1. Stadiul de dezvoltare teoretică și practică a tematicii pe plan mondial.....	15
1.2. Categorii de lucrări de construcții la care se folosesc materiale geosintetice.....	17
1.3. Obiectivele tezei de doctorat.....	23
2. CARACTERIZAREA TEHNICĂ A GEOSINTETICELOR UTILIZATE LA LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ.....	26
2.1. Definierea geosinteticelelor ca material	26
2.1.1. Considerații generale	26
2.1.2. Compuși macromoleculari sintetici	27
2.2. Materiale geosintetice folosite la lucrări de inginerie geotehnică.....	32
2.2.1. Clasificarea materialelor geosintetice.....	32
2.2.2. Geotextile.....	34
2.2.2.1. Tipuri de geotextile și moduri de realizare	34
2.2.2.2. Proprietățile geotextilelor	37
2.2.2.3. Funcțiile și domeniul de folosire a geotextilelor	39
2.2.3. Geogriile	40
2.2.3.1. Tipuri de geogriile și modul de realizare.....	40
2.2.3.2. Folosirea geogriilelor la lucrări de inginerie geotehnică	42
2.2.4. Georețele	43
2.2.5. Geocompozite	45
2.2.5.1. Geocompozite formate din două straturi de geotextil legate mecanic.....	45
2.2.5.2. Geocompozite realizate dintr-un geotextil și o rețea de polimeri sau fibre de sticlă.....	46
2.2.5.3. Geocompozite realizate dintr-un geotextil sau geogrilă și o georețea	47
2.2.5.4. Geocompozite realizate dintr-o membrană HDPE cuplată cu un geotextil neșesut	49
2.2.5.5. Geocompozite realizate din geotextil și geogrilă	50

(geosaltele)	51
2.2.5.6. Geocompozite bentonitice	51
2.2.6. Geocelule	53
2.2.7. Geotuburi	56
2.2.8. Geomembrane	58
2.2.9. Funcțiile materialelor geosintetice.....	60
2.3. Definirea și determinarea principalelor caracteristici ale materialelor geosintetice	62
2.3.1. Date necesare identificării geosinteticelor	64
2.3.2. Caracteristici fizice.....	64
2.3.3. Caracteristici mecanice.....	66
2.3.4. Caracteristici hidraulice ale geotextilelor și ale unor geocompozite	74
2.3.5. Caracteristici de durabilitate	78
2.3.6. Caracteristici referitoare la degradarea geosinteticelor.....	79
2.3.7. Valori ale caracteristicilor unor geotextile uzuale.....	82
2.3.8. Caracteristici tehnice principale ale unor geocompozite și geogriile utilizate în România la armarea îmbrăcăminților asfaltice	83
3. ASPECTE TEORETICE ȘI PRACTICE PRIVIND FOLOSIREA EFICIENTĂ A MATERIALELOR GEOSINTETICE LA LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ.....	88
3.1. Folosirea materialelor geosintetice la terasamente de drumuri și căi ferate	88
3.1.1. Principii generale de proiectare și execuție a terasamentelor de drumuri și căi ferate.....	88
3.1.2. Funcțiile geosinteticelor folosite la terasamente de drumuri și căi ferate	92
3.1.3. Considerații privind folosirea geosinteticelor la lucrări de drenare a apei	103
3.1.4. Considerații asupra conlucrării dintre geosintetice și materialul din corpul terasamentelor	106
3.1.5. Durabilitatea geosinteticelor din corpul terasamentului.....	110
3.2. Folosirea materialelor geosintetice la armarea pernelor de fundare a construcțiilor pe terenuri slabe.....	112
3.2.1. Generalități.....	112
3.2.2. Perne de fundare	114
3.2.3. Perne de fundare armate cu materiale geosintetice.....	115
3.2.4. Încercări experimentale asupra capacității portante a pernelor de fundare armate cu geosintetice	118
3.2.4.1. Materiale folosite.....	119
3.2.4.2. Metodica efectuării încercărilor experimentale.....	123
3.2.4.3. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor	125
3.2.4.4. Concluzii	145

3.3. Folosirea materialelor geosintetice la realizarea deponeurilor	146
3.3.1. Considerații generale asupra necesității și rolului deponeurilor	146
3.3.2. Funcțiuni ale geosinteticelor folosite la realizarea deponeurilor	151
3.3.3. Tipuri de materiale geosintetice folosite la etanșarea deponeurilor.....	157
3.3.3.1. Geomembrane.....	157
3.3.3.2. Geocompozite bentonitice	165
3.3.4. Impermeabilizarea suprafeței deponeurilor	167
4. PRINCIPII DE ANALIZĂ ȘI CALCUL A STABILITĂȚII TERASAMENTELOR EXECUTATE ÎN RAMBLEU ȘI ARMATE CU MATERIALE GEOSINTETICE.....	173
4.1. Generalități	173
4.2. Considerații generale asupra metodelor de calcul a stabilității masivelor de pământ	176
4.3. Particularități ale calculului de verificare a stabilității rambleurilor armate cu geosintetice	184
4.3.1. Aplicarea metodei Fellenius la verificarea stabilității terasamentelor armate cu geosintetice	187
4.3.2. Etapele calculului de verificare a stabilității terasamentelor armate cu geosintetice cu programul DC-Geotex.....	191
5. STUDIU DE CAZ PRIVIND REALIZAREA DE TERASAMENTE ARMATE CU GEOSINTETICE LA CONSTRUCȚIA UNUI POD RUTIER	197
5.1. Prezentare generală.....	197
5.2. Caracterizarea tehnico-geologică și geotehnică a amplasamentului ...	201
5.3. Alegerea soluției tehnice de terasament ranforsat prin armare cu material geocompozit	203
5.4. Detalii constructive privind soluția tehnică aleasă și principii de execuție	206
5.5. Prezentarea rapoartelor de dimensionare generate de programul de calcul DC-Geotex	213
5.6. Concluzii	217
6. CONCLUZII FINALE	218
6.1. Concluzii generale	218
6.2. Contribuții personale ale autorului	219
6.3. Direcții viitoare de cercetare	222
BIBLIOGRAFIE	224

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Căi de Comunicare Terestre, Fundații și Cadastru al Facultății de Construcții din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara, departament din care fac parte din anul 2003.

Doresc să exprim mulțumirile mele conducătorului științific, Prof.univ.dr.ing. Virgil HAIDA, pentru permanentul sprijin și suport acordat, pentru îndrumarea și atenția specială pe care a acordat-o tezei de doctorat și pentru libertatea deplină de exprimare pe care mi-a permis-o în toate etapele desfășurării activității de doctorat.

De asemenea, doresc să le mulțumesc d-lui Prof.univ.dr.ing. Augustin POPA, d-lui Prof.univ.dr.ing. George STOICESCU și d-lui Prof.dr.ing. Marin MARIN, membri ai comisiei științifice, care au recenzat teza, au recomandat-o pentru susținerea publică și au acceptat să-mi fie alături la susținerea publică.

Mulțumesc firmei TenCate Geosynthetics Austria, respectiv d-lui ing. Manfred LASSNIG pentru punerea la dispoziție a materialelor geosintetice folosite la încercările experimentale efectuate în laboratorul Departamentului de Căi de Comunicații Terestre, Fundații și Cadastru, de la Facultatea de Construcții din Timișoara. De asemenea doresc să mulțumesc d-nul Conf.dr.ing. Adrian BOTA (APECC S.R.L.) pentru buna colaborare la realizarea studiului de caz prezentat în teză.

Mulțumesc colegilor din departamentul mai sus menționat, pentru prietenia și sprijinul acordat în momentele dificile ale întocmirii tezei de doctorat!

Aș dori să mulțumesc soțului, Octavian Roman, pentru încrederea, răbdarea și ajutorul acordat pe parcursul anilor de documentare și realizare a acestei lucrări. Mulțumesc părinților, Zoica și Nicolae Piesz, pentru sprijinul necondiționat oferit!

Timișoara, octombrie 2013

Andreea Luiza Roman

Lista figurilor

Fig. 1.1. Implicarea multiplelor tipuri de materialelor geosintetice la construcția unui depozit de deșeuri	17
Fig. 1.2. Exemplu de utilizare a geosinteticeilor în construcții hidrotehnice	18
Fig. 1.3. Exemplu de utilizare a geosinteticeilor în construcții de tuneluri	18
Fig. 1.4. Exemplu de utilizare a geosinteticeilor în hidroizolații.....	20
Fig. 1.5. Exemplu de separare a straturilor în cazul consolidării de adâncime cu ajutorul coloanelor de balast	22
Fig. 1.6. Montare rost cu soluție de geocompozit	23
Fig. 2.1. Exemplu de țesere a fibrelor continue de polipropilen	30
Fig. 2.2. Tronson al Marelui Zid Chinezesc.....	31
Fig. 2.3. Clasificarea materialelor geosintetice	32
Fig. 2.4. Moduri de fabricare a geotextilelor țesute, tricotate și nețesute	33
Fig. 2.5. Tipuri de geotextile.....	34
Fig. 2.6. Geotextile	34
Fig. 2.7. Geotextil din fibră continuă solidificat prin procedeu: a) mecanic, b) termic..	34
Fig. 2.8. Efectul dimensiunii porilor la geotextile nețesute și țesute	36
Fig. 2.9. Proprietăți hidraulice ale geotextilelor	36
Fig. 2.10. Comportarea la smulgere a geotextilelor	37
Fig. 2.11. Geotextil nețesut utilizat la separare de straturi	38
Fig. 2.12. Geotextile biodegradabile din fibre de cocos, iuta, celuloză (Pavimat, Geocom).....	39
Fig. 2.13. Realizarea geogrilelor prin etirare sau stanțare și etirare	40
Fig. 2.14. Tipuri de geogrile	40
Fig. 2.15. Zid de sprijin armat cu geogrile în sistem TenCate.....	41
Fig. 2.16. Exemplu de folosire a georețelelor ca strat de protecție a unui taluz împotriva eroziunii	42
Fig. 2.17. Fixarea georețelelor pe suprafețe înclinate.....	42
Fig. 2.18. Stabilizarea antierozivă pe malul unui canal de irigații efectuată cu georețea tip KMat L TeMa-Tegola	43
Fig. 2.19. Geocompozit tip Polyfelt F TenCate	44
Fig. 2.20. Geocompozit pentru armarea pământului tip Rock PEC TenCate	45
Fig. 2.21. Geocompozite pentru armarea asfaltului.....	46
Fig. 2.22. Exemplu de folosire a geocompozitelor.....	47
Fig. 2.23. Protecție mecanică și drenaj la un perete de susținere (Isostud Geo P - Tensar)	48
Fig. 2.24. Protejarea unei conducte (geocompozit tip Polyfelt DC)	49
Fig. 2.25. Geocompozit utilizat pentru armarea asfaltului (tip Beco Bebit)	50
Fig. 2.26. Impermeabilizarea și încapsularea unui depozit de deșeuri realizat de Geocons	51
Fig. 2.27. Depozit de deșeuri realizat în varianta Trisoplast	51
Fig. 2.28. Impermeabilizarea unui canal de colectare a apelor scurse de pe pista unui aeroport cu Bentofix, Naue	52
Fig. 2.29. Geocelule tip Geotexcelda.....	53
Fig. 2.30. Geocelule tip Armater GL Geosintex, Eurocel Stefiprimex. Exemplu de punere în operă	53
Fig. 2.31. Exemple de lucrări cu geotuburi	56
Fig. 2.32. Umplerea unui geotub Tencate cu deșeuri produse de o fabrică de hârtie ..	56

Fig. 2.33. Exemplu de apărare de mal cu geotuburi.....	57
Fig. 2.34. Instalarea geomembranei pe taluz.....	58
Fig. 2.35. Geomembrane cu pineni (Tefond Tegola)	59
Fig. 2.36. Determinarea rezistenței la poansonare.....	66
Fig. 2.37. Încercarea de poansonare - simularea efectului împingerii unei pietre prin geotextil, pentru stabilirea clasei de robustețe.....	69
Fig. 2.38. Schița de testare a supleței unui geotextil	70
Fig. 2.39. Schița aparatului de forfecare	71
Fig. 2.40. Determinarea rezistenței la smulgere a geosinteticelor, respectiv a geotextilului sau geogrilei	72
Fig. 2.41. Testarea capacității de retenție	77
Fig. 3.1. Terasamente rutiere și lucrări aferente acestora.....	90
Fig. 3.2. Terasamente de căi ferate și lucrări aferente acestora.....	90
Fig. 3.3. Elementele unui terasament de cale ferată	91
Fig. 3.4. Încercarea de poansonare la geotextile	97
Fig. 3.5. Exemplul de utilizare a materialelor geosintetice pe taluzul terasamentului unei căi ferate	98
Fig. 3.6. Exemplu de utilizare a materialelor geosintetice în corpul terasamentelor unei căi ferate	99
Fig. 3.7. Rolul de separare	99
Fig. 3.8. Interacțiunea de tip ancorare geosintetic – pământ	106
Fig. 3.9. Mecanism de ancorare	107
Fig. 3.10. Valoarea rezistenței admisibile la ancoraj	109
Fig. 3.11. Plan potențial de alunecare.....	109
Fig. 3.12. Clasificarea metodelor și procedeele de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare	113
Fig. 3.13. Pernă de fundare.....	114
Fig. 3.14. Pernă de fundare armată cu material geosintetic	115
Fig. 3.15. Rezultatele analizei granulometrice.....	119
Fig. 3.16. Curba Proctor a nisipului analizat.....	120
Fig. 3.17. Geocompozit TenCate Rock PEC 55/50 , fabricat de TenCate Geosynthetics.....	120
Fig. 3.18. Geotextil țesut TenCate Geolon PP60 , fabricat de TenCate Geosynthetics.....	121
Fig. 3.19. Geogrilă TenCate Miragrid GX 55/55 , fabricat de TenCate Geosynthetics.....	122
Fig. 3.20.a. Vedere generală a stendului metalic.....	123
Fig. 3.20.b. Placa de încercare.....	124
Fig. 3.20.c. Fleximetrele utilizate	124
Fig. 3.21. Balanța electronică și etuva utilizate la efectuarea determinărilor de laborator	124
Fig. 3.22. Prelevarea probelor netulburate cu ștanțe de laborator	125
Fig. 3.23. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip nearmate	128
Fig. 3.24. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geocompozit Rock PEC 55/50	130

10 Lista figurilor

Fig. 3.25. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geotextil țesut Geolon PP60	133
Fig. 3.26. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geogrilă Miragrid GX 55/55	135
Fig. 3.27. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geocompozit Rock PEC 55/50	138
Fig. 3.28. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geotextil țesut Geolon PP60	140
Fig. 3.29. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geogrilă Miragrid GX 55/55	143
Fig. 3.30. Interpretarea grafică a rezultatelor încercărilor experimentale	145
Fig. 3.31. Distribuția geografică a principalelor depozite de deșeuri industriale în România, Institutul European din România, Studiu de impact	151
Fig. 3.32. Roluri funcționale ale materialelor geosintetice implicate în construcția depunerilor: GT - geotextile, GG - geogriile, GM - geomembrane, GC – geocompozite	152
Fig. 3.33. Etapele proiectării unui depozit ecologic de deșeuri	153
Fig. 3.34. Schema clasică a sistemului de impermeabilizare a unui depozit de deșeuri	156
Fig. 3.35. Modul de ancorare a geomembranei la partea superioară a taluzului ...	156
Fig. 3.36. Geomembrană tip Hypalon®	158
Fig. 3.37. Etanșarea unui depozit de deșeuri cu R5, Coolgaurd™	159
Fig. 3.38. Tipuri de texturi pentru geomembrane	159
Fig. 3.39. Soluții de îmbinare etanșă	161
Fig. 3.40. Tipuri de solicitări asupra unui depozit de deșeuri, pe întreaga sa durată de viață	164
Fig. 3.41. Tipuri de geocompozite bentonitice	165
Fig. 3.42. Geocompozit tip Gundseal®	166
Fig. 3.43. Geocompozite bentonitice	167
Fig. 3.44. Exemplu de strat de închidere la depozite de deșeuri periculoase	168
Fig. 3.45. Variante pentru realizarea stratului de închidere pentru depozite de deșeuri nepericuloase	171
Fig. 3.46. Modul de aplicare a stratului de drenaj pentru apa din precipitații	172
Fig. 4.1. Evidențierea forței de întindere din armăturile geosintetice intersectate de o suprafață potențială de cedare	175
Fig. 4.2. Taluzuri artificiale	177
Fig. 4.3. Metode de calcul bazate pe conceptul de echilibru limită	178
Fig. 4.4. Schemă de discretizare a unui masiv taluzat	181
Fig. 4.5. Definirea suprafeței de alunecare în funcție de parametrul λ	182
Fig. 4.6. Reprezentarea variației deplasărilor punând în evidență suprafața de alunecare	184
Fig. 4.7. Moduri de pierdere a stabilității externe	185
Fig. 4.8. Moduri de pierdere a stabilității interne	185
Fig. 4.9. Etapele analizei stabilității unui terasament armat cu geosintetice	186

Fig. 4.10. Schema de calcul a stabilității taluzului terasamentului neranforsat și de determinare a factorului de stabilitate minim.....	188
Fig. 4.11. Delimitarea masei alunecătoare în terasamentul ranforsat.....	189
Fig. 4.12. Variația forței de întindere pe lungimea armăturilor	190
Fig. 4.13. Modulul DC-GEOTEX	191
Fig. 4.14. Icoana de alegere a standardului de analiză a calculului	192
Fig. 4.15. Icoana de alegere a stratificației terenului	193
Fig. 4.16. Exemplu de alegere a materialului geosintetic și implicit ai factorilor parțiali de reducere ai acestuia	194
Fig. 4.17. Alegerea tipului de parament si a coeficienților seismici.....	195
Fig. 4.18. Rezultatul grafic al stabilității interne a unui exemplu de calcul.....	196
Fig. 5.1. Vedere din satelit - Google Maps – Cutina, județul Timiș	197
Fig. 5.2. Degradări ale podului existent.....	198
Fig. 5.3. Planul de situație al amplasamentului Cutina	199
Fig. 5.4. Aripă monolite din beton armat.....	200
Fig. 5.5. Harta geologică a României	201
Fig. 5.6. Fișa geotehnică a forajului executat pe amplasament (DJ609B km 16+800)....	202
Fig. 5.7. Amplasamentul forajului F1	203
Fig. 5.8.a. Contrabanchete exterioare rambleului.....	204
Fig. 5.8.b. Contrabanchete incluse în corpul rambleului	204
Fig. 5.9.a. Variante de ziduri de sprijin de greutate	205
Fig. 5.9.b. Variante de ziduri de sprijin tip cornier	205
Fig. 5.10. Exemplu de zid de sprijin de greutate	205
Fig. 5.11. Zid de sprijin tip cornieră.....	206
Fig. 5.12. Geocompozit de armare utilizat la terasamentele aferente podului de la Cutina	207
Fig. 5.13. Corniere metalice Ø10, cu ochiuri de 10 x 10 cm.....	207
Fig. 5.14. Geogrila de protecție antierozivă Green B.....	208
Fig. 5.15. Profil transversal prin terasamentul armat	209
Fig. 5.16. Rezultatul determinării granulozității, pentru umplutura de pământ utilizată la realizarea terasamentelor podului de la Cutina	208
Fig. 5.17. Buletin de analiză pentru determinarea indicilor de plasticitate și consistență	210
Fig. 5.18. Rezultatul tabelar și grafic al determinării parametrilor rezistenței la forfecare.....	211
Fig. 5.19. Rezultatul grafic al determinării umidității optime de compactare	211
Fig. 5.20. Așternerea geocompozitului și realizarea unui strat pentru compactare.....	212
Fig. 5.21. Umplerea zonei exterioare cu pământ vegetal	213
Fig. 5.22. Schema de armare și de calcul conform DC – Geotex.....	214
Fig. 5.23. Factori de siguranță pentru geocompozitul Rock PEC 55	215

Lista tabelelor

Tabelul 2.1. Polimerii principali utilizați la fabricarea materialelor geosintetice	30
Tabelul 2.2. Funcțiile materialelor geosintetice.....	61
Tabelul 2.3. Caracteristici principale care condiționează eficiența funcțiilor materialelor geosintetice.....	62
Tabelul 2.4. Caracteristicile principale ale geosinteticelor și standarde determinare ...	62
Tabelul 2.5. Valori orientative ale rezistențelor la poansonare.....	70
Tabelul 2.6. Valori orientative ale supleței.....	71
Tabelul 2.7. Valori orientative a unghiului de frecare dintre pământ și geotextil ...	73
Tabelul 2.8. Valori ale caracteristicilor ale geotextilelor.....	83
Tabelul 2.9. Caracteristici tehnice ale unor geocompozite și geogriile utilizate în România la armarea îmbrăcăminților asfaltice.....	84
Tabel 3.1. Clasele de robustețe a geotextilelor folosite la realizarea terasamentelor rutiere și feroviare	95
Tabel 3.2. Variante de utilizare a geotextilelor la realizarea terasamentelor în corelare cu natura materialului de umplutură	96
Tabel 3.3. Variante de solicitare datorate instalării și utilajelor folosite.....	96
Tabel 3.4. Corelarea robusteței materialului geotextil cu variantele de utilizare și de solicitare.....	97
Tabel 3.5. Gruparea robusteții materialelor geotextilelor în funcție de caracteristicile tehnice ale acestora	98
Tabel 3.6. Caracteristici etalon ale geosinteticelor folosite ca și material de separare ...	100
Tabel 3.7. Caracteristici etalon a geosinteticelor folosite ca și material de armare	101
Tabel 3.8. Clasa de capacitate portantă	102
Tabel 3.9. Valori estimative a mărimii caracteristice a ochiurilor geosinteticului coordonat cu tipul materialului de umplutură.....	102
Tabel 3.10. Valori orientative a coeficientului de permeabilitate	104
Tabel 3.11. Valori orientative pentru f_b	108
Tabel 3.12. Scăderea maximă admisă a rezistenței de întindere/la întindere conform testelor de stabilitate	111
Tabel 3.13. Scăderea maximă a rezistenței prin expunere la intemperii a materialelor geosintetice neacoperite	111
Tabel 3.14. Etape de proiectare a pernelor de fundare armate cu geosintetice....	116
Tabel 3.15. Caracteristicile geocompozitului TenCate Rock PEC 55/50	121
Tabel 3.16. Caracteristicile geotextilului TenCate Geolon PP60	121
Tabel 3.17. Caracteristicile geogrii TenCate Miragrid GX 55/55	122
Tabel 3.18. Caracteristici geotehnice ale pernei din nisip nearmate	126
Tabel 3.19. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.1	126
Tabel 3.20. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geocompozit Rock PEC 55/50	128
Tabel 3.21. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.2	129
Tabel 3.22. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geotextil țesut Geolon PP60	131
Tabel 3.23. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.3	131
Tabel 3.24. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geogrilă Miragrid GX 55/55	133
Tabel 3.25. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.4	134

Tabel 3.26. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu două straturi de geocompozit Rock PEC 55/50	136
Tabel 3.27. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.5	136
Tabel 3.28. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu două straturi de geotextil țesut Geolon PP60	138
Tabel 3.29. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.6	139
Tabel 3.30. Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armate cu două straturi de geogrilă Miragrid GX 55/55	141
Tabel 3.31. Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.7	141
Tabel 3.32. Rezultate încercărilor experimentale efectuate pe perne din nisip realizate în stend	144
Tabel 3.33. Generarea de deșeuri pe ani în perioada 1995...2000	147
Tabel 3.34. Evoluția ponderii deșeurilor urbane în perioada 1995 – 2000	148
Tabel 3.35. Compoziția și caracteristicile deșeurilor urbane	148
Tabel 3.36. Proprietățile fizice ale geomembranelor.....	161
Tabelul 3.37. Valori orientative ale rezistenței la întindere.....	162
Tabel 3.38. Valori orientative ale rezistențelor la impact	162
Tabelul 3.39. Unghiul de frecare la interfața dintre geomembranele și diverse materiale.....	163
Tabel 4.1. Valori tipice ale rezistenței de scurtă durată a geosinteticelor	187
Tabel 5.1. Caracteristicile principale ale podului proiectat.....	199
Tabelul 5.2.	214

1. INTRODUCERE

1.1. Stadiul de dezvoltare teoretică și practică a tematicii pe plan mondial

Geosinteticele sunt materiale plastice, în a căror componență intră și materiale organice, care sunt folosite în domeniul construcțiilor îndeplinind diferite funcții, precum separare, filtrare, armare. Prelucrarea industrială specifică a maselor plastice a avut ca rezultat apariția și dezvoltarea acestor materiale inovatoare în domeniul construcțiilor, care sunt de fapt polimeri, având o istorie care nu trebuie neglijată. Cronologic se pot aminti următoarele lucrări de referință:

- În anul 1926 în Carolina de Sud, S.U.A., s-a utilizat pentru prima dată o pânză subțire de bumbac pe un prim strat de pământ, peste care s-a turnat asfalt cald, rezultatele fiind pozitive deoarece în studii elaborate nouă ani mai târziu au existat dovezi ce arătau ca s-au obținut îmbunătățiri considerabile privind reducerea fisurilor și a degradării îmbrăcăminții rutiere;

- În anul 1957 au fost folosiți saci din poliamidă executați prin tricotare pentru stabilizarea unui dig în Olanda.

- În anul 1960 se utilizează geotextile fabricate prin țesere la stabilizarea straturilor bituminoase în construcții rutiere în Statele Unite ale Americii;

- În anul 1981 declarațiile prof. Giroud, expert în domeniul geosinteticeleor, conduc la una din principalele lansări dinamice ale acestor materiale în domeniul construcțiilor: "Geotextilele dețin permeabilitatea nisipului și rezistența la tracțiune a metalului", "Atitudinea inginerilor s-a schimbat în momentul în care geotextilele au invadat progresiv toate branșele din domeniul construcțiilor".

Evoluția materialelor geosintetice pe plan internațional a fost una spectaculoasă, poate cea mai spectaculoasă din domeniul materialelor și tehnologiilor pentru construcții, în ultimul deceniu reușind să ajungă de la statutul de material specific, minor, la o industrie internațională cu o cifră de afaceri de miliarde de dolari, la miliarde de metri pătrați puși în operă și la tehnologii adiacente și domenii de aplicare ce nu încetează să se dezvolte și să se extindă până la ora actuală.

În România s-a apelat la avantajele acestor materiale, în special ale geotextilelor, în anii '70, grație unui colectiv restrâns de specialiști și profesori. În perioada anilor 1970 – 1989, s-au produs și utilizat în țara noastră cantități relativ însemnate de geotextile nețesute, având rezultate pozitive. După 1989, a existat o perioadă de câțiva ani când, urmare a reducerii drastice a investițiilor, cantitățile de geosintetice utilizate au fost diminuate. Această perioadă a avut însă importanța ei

pentru domeniu, ea fiind o etapă de cercetare, în care cantități mari de informații tehnice au pătruns în țară prin intermediul revistelor de specialitate, a participărilor la conferințe internaționale și a producătorilor internaționali de geosintetice. La ora actuală există producători autohtoni de materiale geosintetice, care reușesc cu succes să acopere o parte din cerințele pieței.

Începând de la apariția lor pe piața internațională, în anii 1960 - 1970, geosinteticele au reușit să ocupe rapid un loc important în clasa materialelor inovatoare din domeniul construcțiilor, ajungând chiar să fie indispensabile în unele domenii ca de exemplu în cel al depozitelor de deșeuri. Datorită variantelor multiple ale metodelor de utilizare al geosinteticelor, aceste materiale au un aport important din punct de vedere tehnic și economic în domeniul ingineresc, fiind de multe ori economice din punct de vedere financiar, oferind tot odată un termen de exploatare al construcțiilor mult mai îndelungat, decât utilizând metodele clasice de execuție. Punerea în operă nu implică probleme tehnice, fiind relativ simplă. Totuși trebuie ținut cont de câteva reglementări și condiții de instalare a geosinteticelor, pentru a le utiliza la capacitatea maximă în condiții de siguranță pe întreaga perioadă de exploatare a construcției unde sunt implicate astfel de materiale. Deși reprezintă un concept vechi cu implicații și interpretări relativ noi, există o multitudine de studii și cercetări asupra geosinteticelor cuprinzând domenii tot mai vaste și lucrări tot mai grandioase unde pot fi implicate acestea.

În anul 1994 a luat ființă Asociația Română a Geosinteticelor (ARG), ulterior devenind membră a Societății Internaționale de Geosintetice (IGS), asociație profesională non-profit, care reunește producătorii autohtoni, reprezentanții celor internaționali, proiectanții, utilizatorii, cercetătorii implicați în acest domeniu și care își propune implicarea activă în promovarea acestor materiale, în activitatea de elaborare a normativelor, standardelor, ghidurilor tehnice de aplicare.

În ultimii 10 ani, la un nivel mai mic, s-a repetat în România ceea ce s-a constatat la nivel internațional în anii '80: o evoluție spectaculoasă, o creștere rapidă a suprafețelor puse în operă, o intensificare a eforturilor tuturor celor interesați.

Piața românească a geosinteticelor cuprinde la ora actuală producători de materiale geosintetice autohtoni și reprezentanți ai celor mai cunoscute firme internaționale din domeniu.

1.2. Categoriile de lucrări de construcții la care se folosesc materiale geosintetice

Făcând parte din categoria de materiale ingenios dezvoltate în ultimul deceniu, lansate pe piața internațională a domeniului de inginerie a construcțiilor și având ca și suport cercetarea continuă asupra soluțiilor ce le includ, geosinteticele își regăsesc utilitatea în tot mai multe domenii legate de practica inginerescă a construcțiilor.

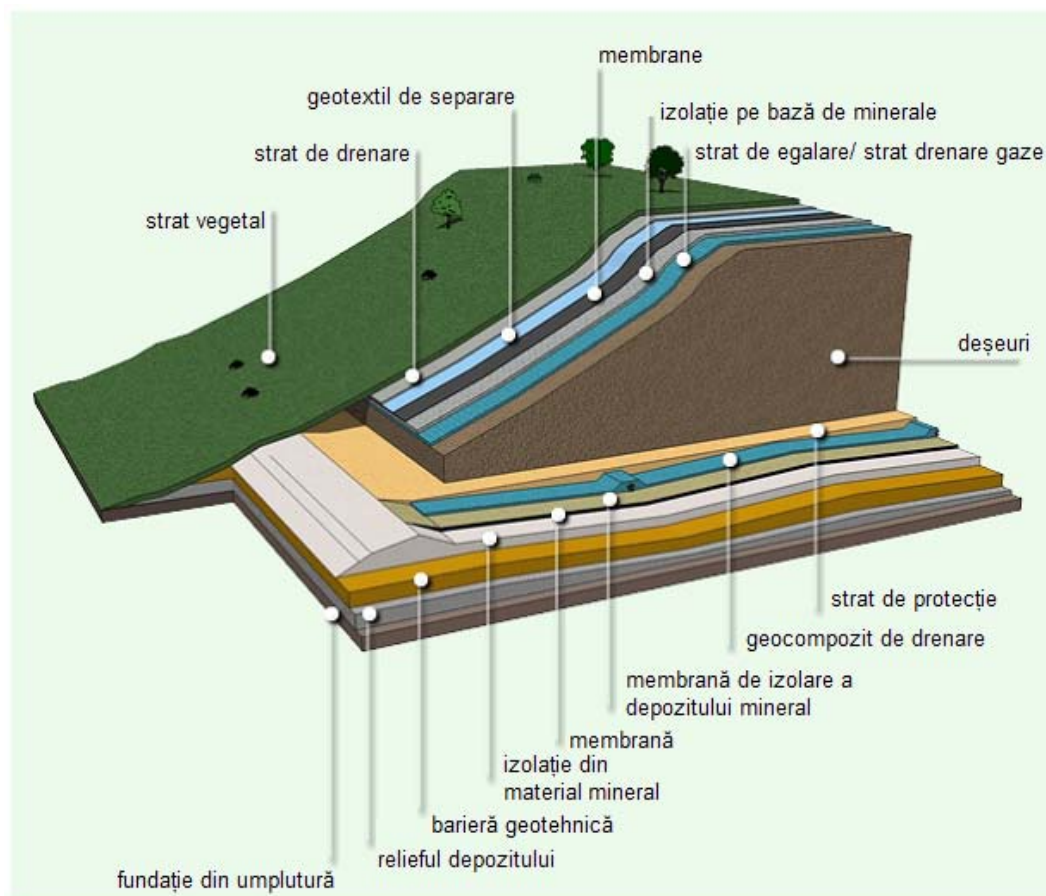


Fig. 1.1. Implicarea multiplelor tipuri de materialelor geosintetice la construcția unui depozit de deșeuri

Domeniile de utilizare a geosinteticelor, în ordinea descrescătoare a volumului de material implicat în anumit domeniu, includ:

- construcții rutiere și lucrări adiacente acestora;
- construcții de căi ferate;
- terasamente și structuri de sprijin;

- sisteme de drenaje;
- construcții hidrotehnice, apărare de mal și conducte;
- construcții de tuneluri;
- depozite de deșeuri,

iar principale funcțiile la care sunt utilizate aceste materiale sunt:

- separarea;
- filtrarea;
- drenarea;
- armarea;
- controlul antierozional;
- protecția;
- funcția de container;
- etanșarea.

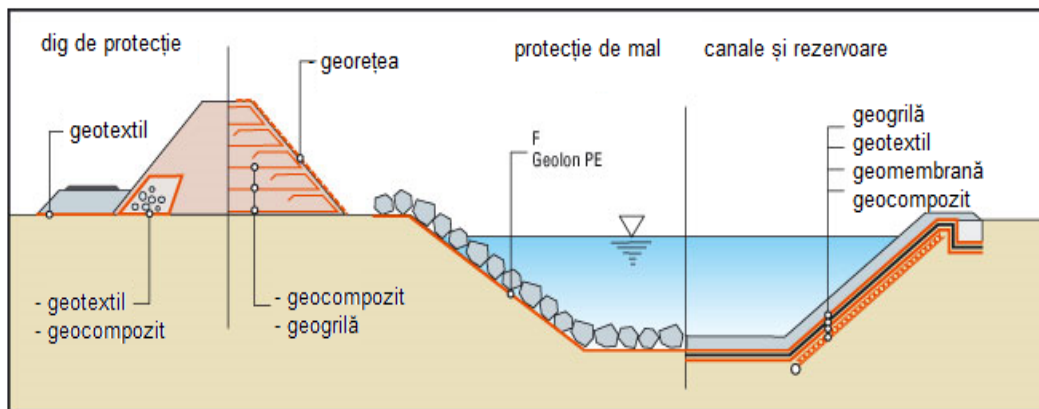


Fig. 1.2. Exemplu de utilizare a geosinteticelor în construcții hidrotehnice

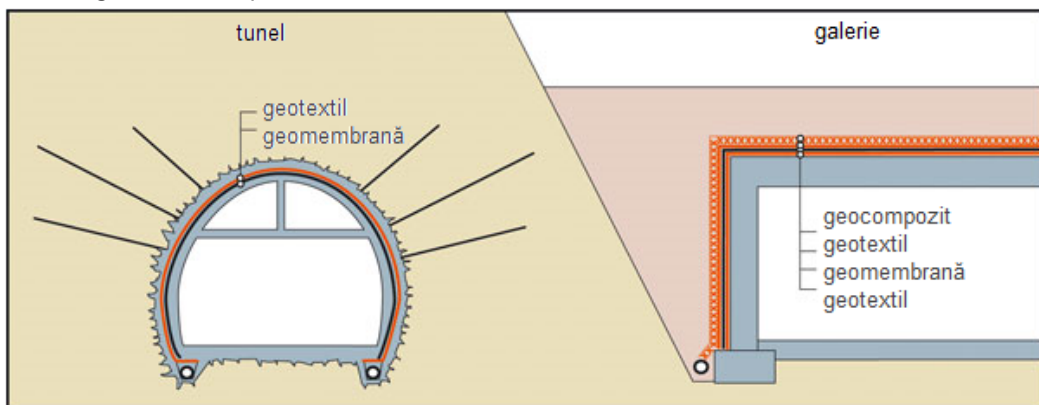


Fig. 1.3. Exemplu de utilizare a geosinteticelor în construcții de tuneluri

În domeniul lucrărilor geotehnice, al fundațiilor speciale și construcțiilor rutiere, materialele geosintetice sunt utilizate acoperind toate funcțiile enumerate

anterior. Rolul de separare de straturi este dependent de filtrare și armare în aproape toate situațiile. Din acest motiv pentru rolul de separare se utilizează geotextile special concepute pentru pământuri cu capacitate portantă scăzută sau acolo unde este necesară îmbunătățirea proprietăților terenului prin menținerea separată în timp a diverselor straturi componente ale terenului. Geotextilele împiedică astfel particulele fine de material granular să se amestece cu cel grosier permițând tot odată trecerea apei. De exemplu, în cazul utilizării unui strat granular grosier așezat peste un strat de pământ cu capacitate portantă scăzută. Sub acțiunea încărcărilor terenul suportă deformații iar la consolidarea repetată a acestuia apare fenomenul de eliminare a apei. Folosind un geotextil la separarea straturilor migrarea materialului granular fin este împiedicată iar coborârea particulelor grosiere este oprită. În astfel de situații se recomandă geotextile neșesute legate mecanic din fire continue, ce au o mare rezistență la solicitări mecanice și la deteriorări datorate acțiunii materialului granular.

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:

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

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

c) 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 viteză variabilă.

Frecvent apare situația în care apa trebuie dirijată dinspre anumite elemente și drenată corespunzător, mai ales în construcții rutiere, terasamente și drenaje. În astfel de cazuri se vor utiliza geocompozite special create, respectiv geosaltele sau georețele. Apa este filtrată de un strat de geotextil spre interiorul geocompozitului, iar de acolo transportată în planul materialului geosintetic spre conducte sau sisteme de colectare a apei. Se evită astfel migrarea materialului granular și colmatarea sistemului de drenare, ce poate fi vertical sau orizontal.

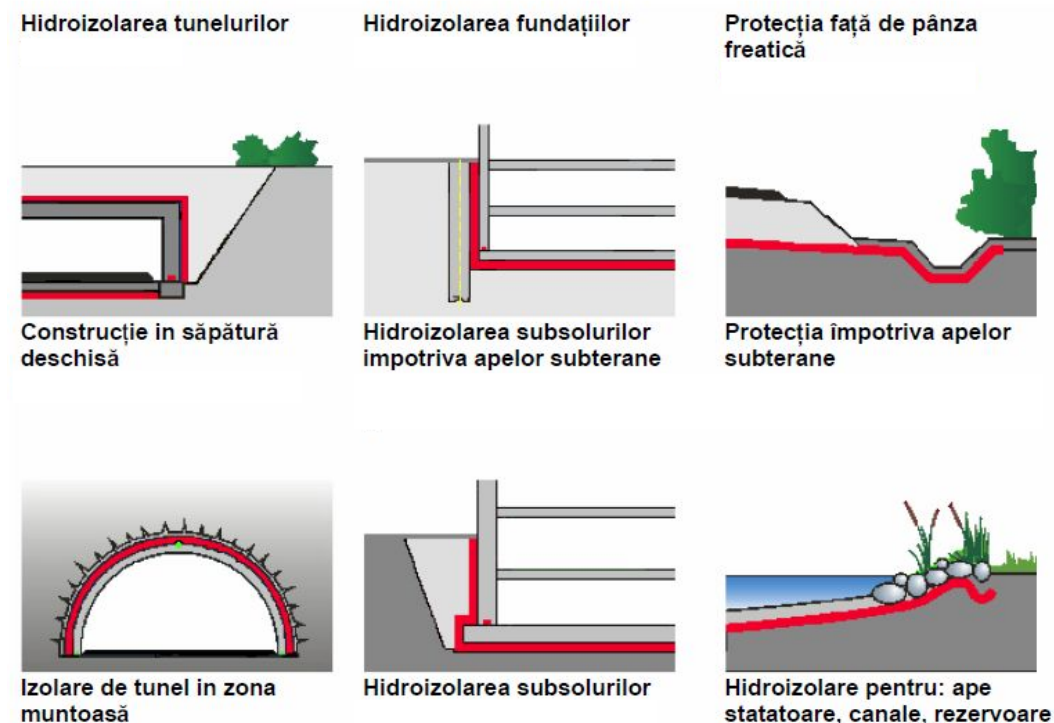


Fig. 1.4. Exemplu de utilizare a geosinteticeilor în hidroizolații

În domeniul geotehnicii unul din cele mai importante funcții deținute de materialele geosintetice este cel de armare. Rolul lor în această situație este de a prelua forțele de întindere din masivului de pământ și de a le distribui uniform pe suprafață. Rezultatul constă în reducerea deformațiilor și asigurarea stabilității pământului, adică sporirea capacității portante a terenului. În multe cazuri se cere o combinație a rolului de armare cu o bună capacitate de filtrare și de separare. Se pot construi astfel taluzuri cu parament foarte înclinat, diguri și praguri de retenție, fundații pe terenuri dificile, ziduri de sprijin, intervenții la alunecări de pământ. În aceste cazuri sunt utilizate geotextile, geocompozite de armare sau geogriduri.

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 durată de exploatare care poate 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 proiectării sau executării 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, fără ca acesta să cedeze brusc.

1.2 – Categoriile de lucrări de construcții la care se folosesc materiale geosintetice 21

Fenomenul de eroziune la suprafață intervine mai ales acolo unde taluzurile nu au o vegetație corespunzătoare, unde precipitațiile sunt frecvente, la terenuri nisipoase sau în zone cu seismicitate. Din acest motiv se folosesc geocompozite (georețele, cu una sau ambele părți acoperite cu geotextile), geotextile biodegradabile, georețele sau geocelule, cu scopul de a proteja paramentul, taluzul sau malul de intemperii, respectiv de eroziune datorată vântului și apei. Reprezentative în situații de protecție antierozivă sunt georețelele ce înlesnesc creșterea vegetației, împiedică spălarea pământului până la acoperirea eficientă cu plante a întregii suprafețe. În cazul digurilor sau apărărilor de mal sunt utilizate geocompozite de drenare cu rezistență mare la solicitări mecanice, ce se fixează adesea cu blocuri din piatră, nefiind influențate de fluctuațiile nivelului apei.

Funcția de drenare a materialelor geosintetice, se bazează pe proprietatea acestora de a permite circulația apei în planul lor (transmisivitate). Drenarea se asigură de regulă prin straturi groase de geotextile neșesute (pâsle) confecționate prin țesere precum și prin alte tipuri de geocompozite sau plase și rețele.

Fenomenele ce intervin la lucrări de drenare unde sunt implicate materiale geosintetice sunt:

- eliminarea apei din masivele de pământ în scopul accelerării procesului de consolidare sub încărcare;
- colectarea și evacuarea apei de infiltrație din baraje, diguri și rambleuri din pământ;
- prevenirea degradării prin îngheț a sistemelor rutiere fundate pe terenuri gelive;
- controlul și împiedicarea pierderilor de substanțe fluide prin exfiltrare din depozitele îngropate de deșeuri și materiale nocive;
- accelerarea procesului de consolidare a pământului prin drenare orizontală;
- consolidarea terenului prin drenuri verticale (fitil);
- drenuri de interceptie în corpul lucrărilor de pământ;
- straturi de rupere capilară sub sistemele rutiere;
- drenuri pentru combaterea exfiltrației din depozitele de deșeuri.

Geotextilele sunt eficient utilizate și la protejarea altor elemente adiacente unor lucrări de construcții, ca de exemplu a benzilor de hidroizolații, a geomembranelor, a unor conducte etc. Aceste variante de geotextile sunt în general legate mecanic, având ca materie primă polipropilena, cu o masă de până la 2000 g/m² și grosimi de până la 12 mm. Ele au o rezistență mare împotriva degradării prin solicitări mecanice protejând astfel elementele peste care au fost așezate.

Geomembranele sunt și ele materiale de protecție, asigurând etanșarea gropilor de deșeuri acolo unde este necesar, împotriva scurgerii lichidelor conținute sau împotriva intrării apei în zona poluată de deșeuri, precum și în cazul lacurilor de acumulare pentru reținerea eficientă a apei. De asemenea, geomembranele sunt utilizate la etanșări de rezervoare, canale de transport, bazine pentru lichide, etanșări pe paramente sau alte elemente ale barajelor, la tuneluri și galerii, etanșări pentru evitarea infiltrațiilor în pământuri argiloase cu umflări și contracții mari, pământuri sensibile la umezire.

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, împiedicând întrepătrunderea acestor straturi. Elementele de separare trebuie să rețină particulele din pământ, rezistând totodată la eforturile produse de încărcările aplicate. 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.

În construcțiile rutiere, geosinteticele intervin la ranforsarea îmbrăcămintei asfaltice, detensionarea plăcilor de beton existente sau la rosturile acestora, împiedicarea propagării fisurilor de reflecție, diminuarea considerabilă a vălurii asfaltului sau etanșarea împotriva infiltrării apei. Sunt utilizate geocompozite special fabricate, geotextile sau geogriile, instalate cu o fixare suplimentară, cu suprapunere sau fără, peste un strat suport stropit cu bitum și sub noul strat de asfalt. În cazul terasamentelor și a fundațiilor amplasate pe terenuri slabe de fundare, o soluție avantajoasă este realizarea pernelor de fundare armate cu geosintetice, geogriile sau geocompozite. De asemenea, se poate utiliza un material geosintetic cu rol principal de armare și rol secundar de separare de straturi, așezate pe un teren ranforsat cu coloane de balast precum în exemplul din figura 1.5.

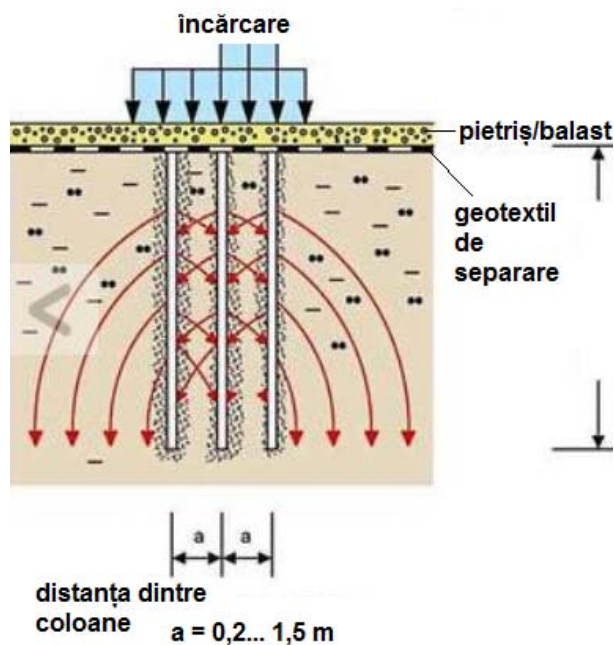


Fig. 1.5. Exemplu de separare a straturilor în cazul consolidării de adâncime cu ajutorul coloanelor de balast

Conceptul de utilizare a geosinteticelor în zona rosturilor la calea de rulare a podurilor este tot mai agreată, dezvoltându-se materiale speciale cu elongații mari și rezistență la întindere ridicată. Normativul pentru execuția rosturilor din asfalt turnat prevede astfel tipul de rost cu armătură din geocompozite.



Fig.1.6. Montare rost cu soluție de geocompozit

Aria de utilizare a materialelor geosintetice este așa cum se observă extrem de vastă și în continuă dezvoltare. Orice concept legat de ingineria civilă poate fi susținut în anumită măsură de intervenția unui material ce face parte din această categorie. În mod cert sunt recunoscute și apreciate avantajele introducerii materialelor geosintetice în diverse domenii ale construcțiilor, acolo unde reprezintă un avantaj atât din punct de vedere tehnic cât și economic.

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

Teza de față are ca obiectiv analizarea și catalogarea întregii game de materiale geosintetice aflate la momentul de față pe piața europeană, plecând de la observarea diferențelor între materiile prime utilizate, a metodelor de fabricare și finalizând cu domeniul de utilizare și rolul acestor materiale la lucrări de inginerie geotehnică.

Teza aduce o contribuție la înțelegerea și evidențierea unor particularități specifice de proiectare și execuție a lucrărilor unde se folosesc materiale geosintetice, al căror concept nu este unul nou, dar care, susținute și de progresul programelor de calcul, aduc un plus de siguranță și rapiditate în execuția diverselor lucrări de inginerie geotehnică.

Plecând de la diversitatea materialelor plastice ce stau la baza geosinteticelor, comportarea materialelor geosintetice este bine controlată din momentul fabricației când, prin forma geometrică și caracteristicile impuse de

fabricant, se obțin materiale cu roluri clare și funcții bine stabilite, acoperind o paletă largă și bine venită în aproape orice domeniu al construcțiilor.

Experiența inginerilor implicați în astfel de lucrări și cunoștințele acestora raportate la caracteristicile și comportarea pământului, materialul de bază ce intervine tot timpul în combinație cu geosinteticele, a dus la realizarea unor lucrări de referință atât în Europa cât și în România în ultimii 10 ani. De apreciat este faptul că geosinteticele sunt materiale total nepoluante, cu ajutorul cărora s-au realizat primele depozite de deșeuri ecologice prin izolarea cu succes a diverselor deșeuri, rezultate din multe domenii industriale, reducând la un nivel semnificativ fenomene de poluare.

De asemenea, acolo unde a fost posibilă înlocuirea soluției de ziduri de sprijin de greutate cu structuri din pământ armat în zone nepopulate, s-a reușit prin utilizarea paramentelor înierbate integrarea lucrărilor masive în mediul natural.

Ca și concept global, indiferent de domeniul analizat, concluzia este că utilizarea materialelor geosintetice aduce o îmbunătățire, uneori radicală, a caracteristicilor fundamentale ale pământurilor.

Lucrarea de față este structurată în 6 capitole, conținutul următoarelor capitole fiind prezentat în sinteză în cele ce urmează:

- Capitolul 2 prezintă în detaliu toate variantele de materiale geosintetice, începând de la materialele prime din care sunt realizate. Sunt descrise procedee de fabricare a acestora și implicit caracteristicile imprimate fiecărui material în parte. Plecând de la o astfel de catalogare, sunt prezentate rolurile și funcțiile geosinteticelor în anumite situații concrete din ingineria construcțiilor.
- Capitolul 3 cuprinde o serie de aspecte teoretice și practice privind utilizarea materialelor geosintetice la o serie de lucrări de inginerie geotehnică, pornind de la terasamente pentru căi de comunicație terestră și toate situațiile ce necesită intervenția cu un material geosintetic pentru conceperea unor sisteme cu o perioadă de exploatare mare și evitarea situațiilor de cedare a acestora. Pernele de fundare armate cu geosintetice și unele aspecte de proiectare și execuție sunt expuse în acest capitol, care sunt susținute și de concluziile rezultate în urma încercărilor experimentale efectuate într-un stand, în care au fost modelate perne din nisip armate cu diferite materiale geosintetice. De asemenea, în acest capitol se abordează și conceptul ce stă la baza realizării deponeurilor, cu referire la normele și staturile în vigoare, ce cataloghează deșeurile în funcție de proveniența și agresivitatea lor, dându-se soluții referitoare la construirea unor depozite de deșeuri nepoluante, ce reprezintă lucrări complexe raportate la materialele implicate. În astfel de lucrări se utilizează o gamă foarte largă de materiale geosintetice, de la geotextile pentru separarea straturilor, la geocompozite de drenare și filtrare, la armarea cu geosintetice pentru taluzurile laterale și geomembranele impermeabile ce oferă sigilarea materialului depozitat.

- Capitolul 4 cuprinde elemente generale a terasamentelor în rambleu, armate cu geosintetice, precum și unele considerații privind calculul stabilității externe și interne a acestora.
- Capitolul 5 detaliază un studiu de caz referitor la armarea cu geosintetice a terasamentelor de la culeea unui pod, realizat în județul Timiș, în localitatea Cutina, unde am participat cu partea de dimensionare a structurii de sprijin realizată în acest mod.
- Capitolul 6 cuprinde concluziile tezei de doctorat și contribuțiile personale ale autorului.

2. CARACTERIZAREA TEHNICĂ A GEOSINTETICELOR UTILIZATE LA LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ

2.1. Definirea geosinteticelor ca material

2.1.1. Considerații generale

Materialele geosintetice folosite în ingineria geotehnică sunt produse cu structură plană sau tridimensională realizate din materiale polimerice, fiind utilizate împreună cu pământurile, rocile sau alte materiale în domeniul construcțiilor. Datorită caracteristicilor și proprietăților lor, geosinteticele pot îndeplini eficient o gamă largă de funcțiuni din domeniul ingineriei geotehnice.

Pentru realizarea geosinteticelor, ca produse rezultate dintr-o prelucrare industrială avansată, se folosesc două mari categorii de materii prime, și anume: *materiale plastice și materiale organice*.

În domeniul larg al materialelor plastice se deosebesc:

- *compuși macromoleculari naturali*, ca de exemplu cauciucul natural, gutaperca (hidrocarburi); celuloza, amidonul, glicogenul (polizaharide); cazeina, gelatina, hemoglobina (proteine).
- *compuși macromoleculari artificiali*, care se obțin prin modificarea chimică a celor naturali. Exemple sunt vâscoza sau celulozidul (care se obțin din celuloza), galalitul (care se obține din cazeina).
- *compuși macromoleculari sintetici*, care se obțin din substanțe cu molecule mici. Exemple sunt cauciucurile de sinteză, materiale plastice, firele și fibrele sintetice ce intră în componența geosinteticelor.

După proprietățile termomecanice producției macromoleculare se împart în:

- *elastomeri sau cauciucuri*, care manifestă o mare elasticitate la temperatură obișnuită;
- *materiale plastice*, care pot fi prelucrate la formare la cald în vederea obținerii pieselor rigide de formă dorită;
- *fire sau fibre*, adică *compuzii macromoleculari*, ce pot fi filați în vederea obținerii fibrelor rezistente la tracțiune mecanică sau efecte termice, ce sunt folosiți în mod direct la realizarea diferitelor tipuri de materiale geosintetice.

Materialele geosintetice sunt fabricate din *compuzii macromoleculari sintetici*.

2.1.2. Compuși macromoleculari sintetici

Proprietățile generale ale compușilor macromoleculari sintetici au o mare relevanță în caracterizarea produsului finit și anume a materialului geosintetic.

Proprietăți termice. Spre deosebire de substanțele cristaline, polimerii nu au puncte de transformare fixe (nete), iar trecerea de la solid la lichid se face într-un interval de temperatură, caracteristic fiecui tip de material. Aceasta se poate explica prin faptul că, la compușii macromoleculari, pe lângă forțele principale (legături chimice), care leagă atomii în cadrul macromoleculei, mai există și alte legături secundare – forțe van der Waals, legături de hidrogen, punți de legătură de S, O, etc. Forțele secundare sunt de tărie diferite, care la creșterea temperaturii se desfac pe rând începând cu cele mai slabe și terminând cu cele mai puternice. Pentru comportarea maselor plastice la încălzire, se definesc mai mulți parametri caracteristici:

- *temperatura de înmuiere* (rigidizare) – T1 – temperatura la care începe mișcarea microbrowniană – datorită deplasării diferitelor porțiuni sau segmente ale macromoleculilor, fără a se separa unele de altele;
- *temperatura de curgere* – T2 – temperatura la care începe mișcarea browniană liberă a macromoleculilor. Peste această temperatură substanța este lichidă.

Aceste caracteristici se referă mai ales la macromolecule filiforme iar valorile acestor temperaturi se stabilesc prin determinări experimentale.

Proprietăți mecanice. Depind de structura și mărimea macromoleculei și pot fi foarte variabile funcție de rigiditatea substanței, începând de la substanțe rigide (cu elasticitate redusă), până la materiale flexibile și extensibile. Substanțele cu molecule tridimensionale au în general cea mai bună rezistență mecanică. La polimerii filiformi, proprietățile mecanice depind de temperatură. La temperaturi joase, polimerul se comportă ca un material rigid, cu rezistență mare la întindere, care scade cu creșterea temperaturii, acesta devenind tot mai elastic (stare supraelastică). La un moment dat, polimerul se deformează permanent (deformație vâsco-plastică), iar peste această temperatură materialul devine plastic.

Plasticitatea. Este proprietatea de a suferi deformări durabile la acțiunea unei forțe exterioare. Compușii macromoleculari se comportă ca niște lichide foarte vâscoase, procesul de curgere începând imediat ce începe solicitarea. Vâscozitatea lor scade mult cu creșterea temperaturii (de ~ 10 ori pentru fiecare 10°C). Astfel, pentru majoritatea lor, domeniul de prelucrare este cam același (100 – 160°C). Acest lucru este important pentru alegerea tehnologiei de prelucrare.

Densitatea. Compușii macromoleculari sunt materiale ușoare (de aproximativ 2 ori mai ușoare decât aluminiul). Acest fapt, ca și buna rezistență mecanică, le face utilizabile în industria aeronautică, navală, automobile, construcții, etc.

Proprietăți dielectrice. Majoritatea maselor plastice sunt buni izolatori electrici fiind folosite în electrotehnică. Fac excepție cele cu structuri care fac posibilă deplasarea electronilor.

Conductibilitatea termică. Sunt buni izolatori termici, mai ales produsele expandate datorită aerului din porii acestora.

Proprietăți optice. Multe mase plastice au proprietăți optice foarte bune în sensul că sunt transparente pentru lumina vizibilă și UV. Astfel unele pot înlocui sticla, fiind totodată și necesante.

Proprietăți de antifricțiune. Multe mase plastice au coeficienți de frecare mici și ungerea lor se face mai ușor decât la piesele metalice. De aceea, se folosesc la construirea de lagăre, roți dințate, role etc. mai ales când durata de serviciu este redusă.

Alături de proprietățile enunțate mai sus, avantajoase din punct de vedere tehnic, masele plastice au și câteva dezavantaje care limitează folosirea lor. Din rândul acestora se menționează: **stabilitatea termică redusă și îmbătrânirea.**

Sub aspectul stabilității termice – majoritatea maselor plastice pot fi utilizate numai până la aproximativ 70°C. Totuși, există câteva produse care rezistă până la 200°C – 300°C.

Îmbătrânirea este un fenomen care are loc în timp, datorită unor reacții lente sub acțiunea oxigenului din atmosferă (și mai periculos este ozonul), a umidității și a radiațiilor UV. Aceasta determină degradarea obiectelor din mase plastice în timp, prin modificarea culorii, scăderea rezistenței mecanice etc. Acest fenomen micșorează durabilitatea compușilor macromoleculari, limitând utilizarea lor în anumite domenii.

Compușii macromoleculari sintetici se obțin în urma reacțiilor de polimerizare și policondensare a monomerilor. Din rândul acestora pot fi enumerați următorii compuși: *polietilena, polipropilena, polistirenul, poliamida, poliamide aromatice, polivinilalcool.*

Datorită importanței deosebite pe care o are materia primă a fiecărui material geosintetic în îndeplinirea cu succes a rolului pentru care acesta este fabricat, în continuare se face o analiză amănunțită asupra fiecărui compus macromolecular. Caracteristicile mecanice cât și toate atuurile unui material geosintetic se bazează în mare parte pe materia primă din componența acestuia.

Polietilena (P.E.) este denumirea dată polimerilor înalți ai etilenei de tipul $(-CH_2-CH_2-)_n$. Polietilena deține o structură extrem de simplă alcătuită din lanțuri lungi de atomi de carbon combinate cu doi atomi de hidrogen atașați fiecărui atom de carbon. Este un polimer semicristalin, rășina fiind compusă dintr-o fază amorfă (lanțurile nu au o orientare specifică) și o fază cristalină (lanțurile formează unități bine definite).

Polietilena se poate obține prin mai multe procedee. Prin procedeul de polimerizare radicală la presiune înaltă folosind oxigen ca promotor, rezultă un produs cu structură ramificată având mase moleculare de 10000-50000. Procedeul de polimerizare ionică la presiune medie în prezența de catalizatori acizi dă polietilenă cu structură mai mult liniară, conferind produsului calități excepționale de bune. Polietilena este o masă albă, cristalină, transparentă sau translucidă. Datorită proprietăților sale mecanice și electrice, stabilității ei chimice și termice,

impermeabilității și densității mici, polietilena se întrebuițează pe scară largă la fabricarea materialelor geosintetice cu rol de separare, armare sau filtrare. Este cel mai ieftin și utilizat material plastic, care fiind termoplastic se prelucrează prin injecție sau extrudare în forme, folii sau fibre rezistente. Are o masă sidefoasă elastică, la -25°C devine casantă, este flexibilă, hidrofobă, are temperatura de topire de 80°C - 112°C și este rezistentă la agenți chimici. Rezistă la acizi și baze dar nu rezistă la solvenți organici. Se utilizează la fabricarea geomembranelor, geogriurilor, georețelelor și geotextilelor. În dependență de condițiile de polimerizare se deosebesc 3 tipuri de polietilenă:

- **polietilenă la presiune înaltă** (High Density) care se obține la presiunea de 1000-1500 atm. și 190°C iar ca inițiator servește oxigenul;
- **polietilena la presiune mijlocie**, la care polimerizarea se realizează în dizolvant la 35-40 atm. și 125 - 150°C pe catalizatori metalici;
- **polietilena la presiunea ce nu depășește 5atm.** și temperatură mai mică de 80°C . Ca și catalizatori se folosesc complecși Ziegler-Natt.

Cu toate că aceste tipuri de polietilenă se obțin din unul și același monomer, ele reprezintă produși ce se deosebesc radical. Polietilena la presiune înaltă este cea mai ramificată, reprezintă un polimer moale și elastic folosit foarte des în fabricarea materialelor geosintetice de genul geomembrane, georețele și geogriurile. Toate tipurile de polietilenă sunt stabile la ger și față de multe medii agresive, cum ar fi acizi, baze și solvenți organici. Se dizolvă în benzen, toluen, xilen, clorobenzen, ș.a. Neajunsul polietilenelor constă în îmbătrânirea rapidă, care, însă, este încetinită prin introducerea în polimer a unor substanțe ca fenoli, amine ș.a.

Polipropilena (P.P.) este rezistentă la agenți chimici, fiind un polimer cu indici fizici, mecanici și electrice foarte înalți. Sub formă de fibre are cea mai ridicată rezistență mecanică dintre toți polimerii. Rezistența la șoc la temperaturi pozitive ridicate și la temperaturi negative scade brusc, iar rezistența la raze ultraviolete este scăzută. Se utilizează la geotextile și geogriurile. Polipropilena cristalină este unul dintre cei mai ușori polimeri duri cunoscuți. Se deosebește prin stabilitate, duritate și tărie. Datorită structurii cristaline, își păstrează forma și proprietățile mecanice bune chiar până la temperatura de înmuiere. Are o stabilitate chimică ridicată, iar temperatura de topire se află la 160°C - 170°C . În mare, polipropilena poate fi caracterizată ca un material cu duritate ridicată la suprafață, densitate redusă, greu inflamabil, înaltă stabilitate termică de formă, rigiditate bună, reziliență redusă, rezistență chimică foarte bună la: acizi, alcool, aldehide, solvenți organici și grași. Rezistența chimică este limitată la hidrocarburi (de exemplu carburanți). Nu rezistă la produse oxidante (risc de crăpare prin stres), și are rezistență redusă la frecare, motiv pentru care în industria materialelor geosintetice are ca și suport substanțe ce îi îmbunătățesc acest inconvenient. Nu poate fi lipită sau vopsită, dar se sudează și nu este rezistentă la intemperii, motiv pentru care se tratează cu substanțe rezistente razelor UV.

Poliesterul (P.E.S.) este termoactiv, iar proprietățile se datorează unei anume structuri a macromoleculii, ce conferă produsului rezistențe mecanice foarte bune. Poliesterul pur este transparent și incolor, rezistând la temperaturi de până la 120°C. Fibrele de poliester prezintă o rezistență bună la acizi minerali, acizi organici, substanțe alcaline și oxidanți. Fibrele sunt termoplaste (masă plastică având proprietatea de a se înmuia prin încălzire) la 230-240°C și prezintă stabilitate față de lumina solară și microorganismele. Se utilizează la geogrilă și geotextile.

Poliamida (P.A.) (nylonul) este un polimer semicristalin de obicei de culoarea alb-lăptoasă sau gălbuie, care face parte din grupa de mase plastice tehnice cu rigiditate și rezistență ridicată. Prezintă o combinație optimă de calități: rezistență mecanică, rigiditate, rezistență la lovituri și proprietăți bune de alunecare, rezistență mare la abraziune, coeficient mic de frecare, rezistență excelentă la oboseală. Punctul de topire se află între 150°C și 270°C în funcție de tip. Domeniul de utilizare este larg, dar cu preponderență la geomembrane și geotextile.

Policlorura de vinilin (P.V.C.) prezintă rezistențe chimice ridicate atât la acizi (precum H_2SO_4 , HCl), cât și la baze (NaOH). Are rezistențe mecanice bune până la temperaturi de 70°C când începe să se descompună. Se utilizează la geomembrane și geotextile.

După cum rezultă din tabelul 2.1., la fabricarea fiecărui tip de material geosintetic este folosit un anumit polimer principal.

Tabelul 2.1.

Polimerii principali utilizați la fabricarea materialelor geosintetice

Tipul materialului geosintetic	Polimerul principal utilizat
geomembrană	polietilenă HDPE, polipropilenă, PVC plasticizat
georețea	polietilenă HDPE
geogrilă	polietilenă HDPE, poliester, polipropilenă
saltele geocelulare și geocompozite	polietilenă HDPE, PVC, poliester, polipropilenă
geotextile	polipropilenă, poliester

Procedeu tehnic ce trebuie parcurs pentru obținerea materiei prime din care sunt realizate geosinteticele este: monomerul → polimerizarea → rezultând polimerul → aditivarea cu diverși componenți pentru a diferenția caracteristicile și deci proprietățile materialului geosintetic. Procesul de fabricare respectă pașii din figura 2.1. ce presupun trecerea materiei prime prin dozatoare și utilajul de extrudare, continuând cu așternerea acestuia în plan orizontal, rearanjarea fibrelor continue printr-un procedeu de întrețesere cu ace-cârlig sau jet de apă la presiuni ridicate, tensionarea geotextilului prin întindere până la atingerea unei lățimi impuse (exemplul din imagine realizează fabricarea geotextilelor nețesute la o lățime de 2 m) și împachetarea materialului cu lungimi variind între 75 și 150 m.

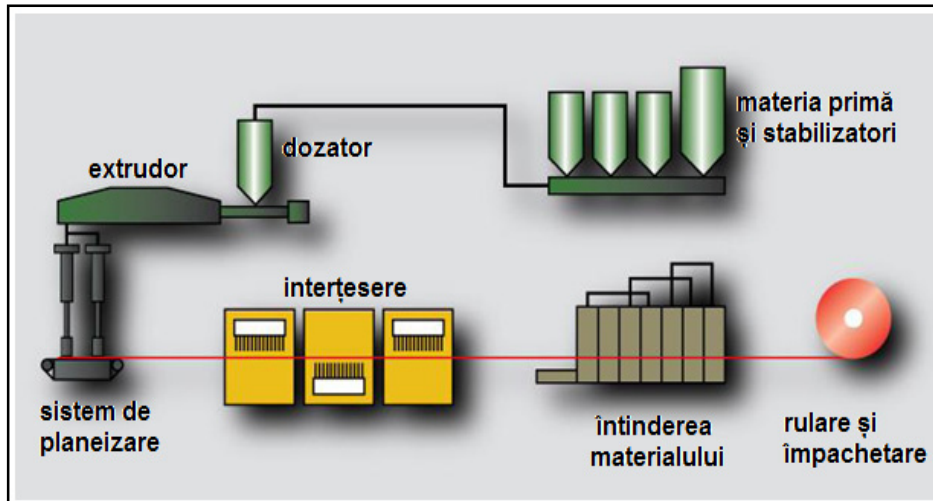


Fig. 2.1. Exemplu de țesere a fibrelor continue de polipropilen

În produsul final, polimerii sunt însoțiți de alte elemente utilizate pentru a conferi materialului geosintetic funcțiile necesare rolului pentru care au fost fabricate. Astfel materialul geosintetic este alcătuit în general din:

- **compusul macromolecular**, care este element principal și constă din unul sau mai mulți polimeri sintetici;
- **componenți de umplură**, care sunt substanțe de natură minerală sau organică, ce realizează scheletul mecanic. Acești compuși pot modifica sau extinde anumite proprietăți. Ele asigură stabilitatea dimensională a materialelor plastice, pot diminua presiunile de formare și temperaturile de prelucrare. Se utilizează sub formă de pulberi, fulgi sau fibre, care pot fi:
 - a) compuși de siliciu – nisip, cuarț, talc, mică, azbest - mărind rezistența la temperaturi ridicate;
 - b) oxizi metalici – ZnO, MgO - cresc duritatea;
 - c) săruri anorganice – CSi – substanțe ce întârzie degradarea termică și fotochimică;
 - d) pulberi metalice – aluminiu, bronz, cupru, zinc – pentru reglarea conductivității electrice.
- **materiale de armare** care au rolul principal de a îmbunătăți proprietățile mecanice, în special rezistența la întindere, forfecare, șoc mecanic;
- **plastifianți** care sunt substanțe organice greu volatile și care adăugate compușilor macromoleculari asigură vâscozitatea necesară prelucrării dând produselor finite flexibilitate;
- **dizolvanți**, adică substanțe organice ușor volatile ce formează soluții lichide cu compușii macromoleculari. Ele conferă o mobilitate temporară compușilor

macromoleculari făcând posibilă prelucrarea sau transformarea, ca de exemplu: alcooli, eteri, hidrocarburi;

- **coloranți și pigmenți**, ce asigură culoare materialului finit, fiind diverși aditivi antistatici, fungistatici, de ignifugare, antioxidanți.

2.2. Materiale geosintetice folosite la lucrări de inginerie geotehnică

2.2.1. Clasificarea materialelor geosintetice

Materialele geosintetice au o largă paletă de utilizări, cu posibilitatea de a le „proiecta” caracteristicile și deci impune rolul. Cu o facilitate deosebită la punerea în operă, o productivitate mare și cu un consum redus de energie la aplicare, lansează o adevărată provocare în competiția tehnică și economică cu materialele clasice. În continuare se cercetează pe piața internațională noi modalități de fabricare sau noi variante de utilizare a acestor materiale, funcțiile lor fiind nemărginite în domeniul construcțiilor de orice tip.

Începutul folosirii în construcții a unor materiale apropiate geotextilelor de astăzi aparține trecutului mult îndepărtat. În anul 1493 împăratul Hongzhi a început construcția zidului dinastiei Ming, cunoscut sub denumirea de Marele Zid Chinezesc, care servea ca apărare contra mongolilor și pentru o supraveghere mai bună a drumurilor comerciale, în special porțiunea centrală a Drumului Mătăsii.



Fig. 2.2. Tronson al Marelui Zid Chinezesc

Mortarul folosit era produs din piatră de calcar arsă amestecată cu amidonul din orez. La construcția corpului zidului se folosea un amestec de argilă, nisip și piatră cioplită, armat cu fâșii de bambus uscat așezate într-un caroiaj, extins pe

înălțimea zidului la anumite distanțe între straturi. Acestea sunt printre primele dovezi de folosire a unor materiale ca și concept de armare a pământului.

În anul 1965 apar primele referiri privind utilizarea unor geotextile confecționate ca atare pentru folosirea în construcții.

În țara noastră primele geotextile au început să fie produse în anii 1973-1974, iar printre cele mai semnificative lucrări se pot enumera: filtrul invers de sub pereul din beton pe canalul navigabil de legătură dintre Dunăre și portul Combinatului Siderurgic Călărași, unde sau utilizat peste 500.000 m² de geotextil; strat filtrant în lucrările de apărare și consolidare a malurilor râului Olt; element filtrant pentru cuva superioară de apă curată la amenajarea râului Dâmbovița pe cca. 10 km [63].

Cu o istorie îndelungată ca și concept, materialele revoluționează periodic întregul areal de construcții. Având ca și ideologie scopul simplificării și îmbunătățirii oricărei lucrări de construcție, materialele geosintetice tind să devină din ce în ce mai acoperitoare în funcții și roluri, ajungându-se în prezent la diverse tehnologii de fabricare și mixare a materiei prime, prin care se obțin materiale geosintetice diferite, economice și justificate domeniului în care sunt utilizate. În literatura de specialitate există mai multe variante de clasificare a materialelor geosintetice, una dintre acestea fiind expusă în figura 2.3. [85]:

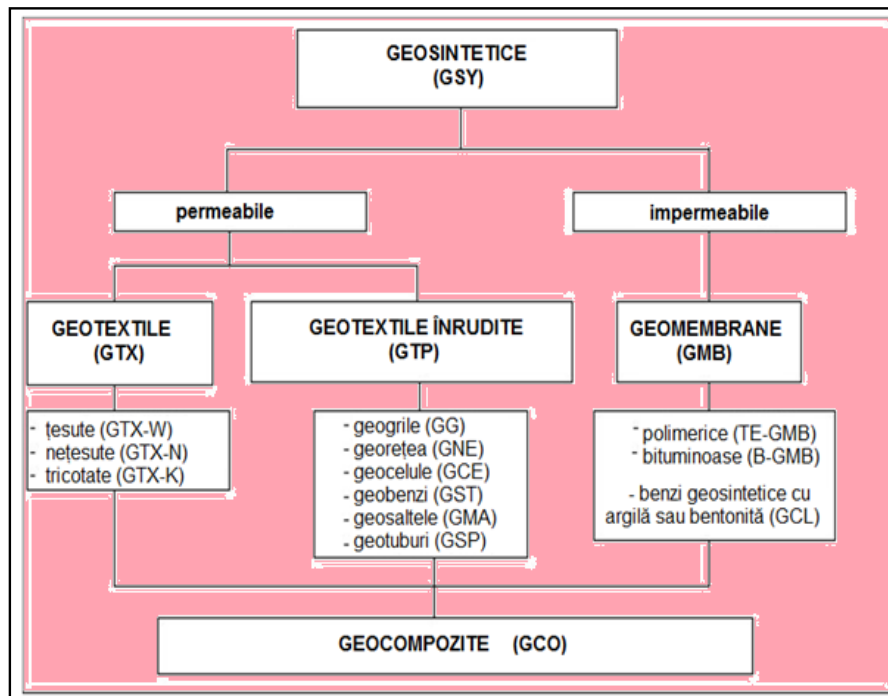


Fig. 2.3. Clasificarea materialelor geosintetice

2.2.2. Geotextile

2.2.2.1. Tipuri de geotextile și moduri de realizare

Geotextilele sunt realizate în marea lor parte din mase plastice care după Koerner, sunt folosite astfel: - polipropilenă 64%, poliester 32%, poliamidă 2%, polietilenă 2%. Pentru nevoi speciale se realizează și geotextile biodegradabile din polimeri naturali sau din alte materiale naturale pentru durate de serviciu limitate.

Geotextilele sunt materiale plane realizate fie prin țeserea pe două direcții a fibrelor, orientate perpendicular, formând astfel o rețea ordonată, fie prin țesere neordonată sau fără țesere (nețesute). Pentru realizarea unui astfel de caroiaj sunt folosite fire filate, multifilamente, sfori, monofilamente, benzi, fibre lipite utilizate în diferite combinații între ele. Pe direcția transversală pot fi folosite fibre diferite față de direcția longitudinală cum ar fi de exemplu multifilamente din poliester, poliamidă și polipropilenă, monofilamente din polipropilenă, benzi și fibre lipite din polietilenă sau polipropilenă.

În figura 2.4. sunt arătate modurile de fabricare a geotextilelor, iar în figura 2.5. și 2.6. sunt prezentate diversele tipuri de geotextile [66].

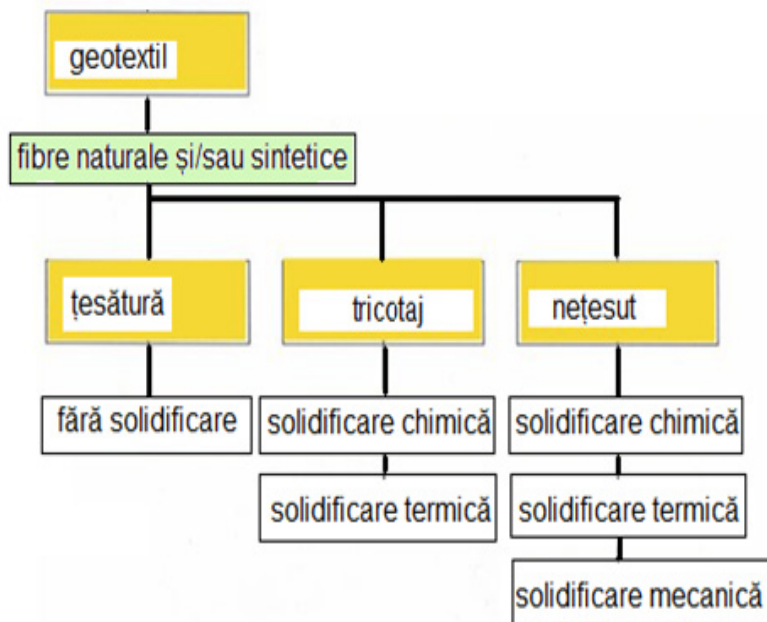
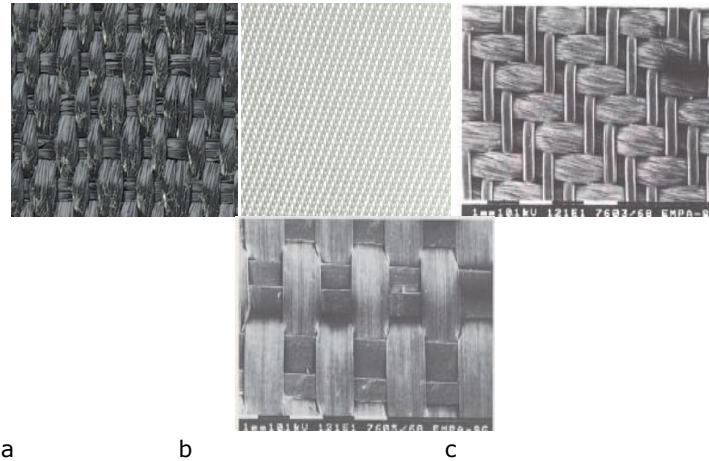
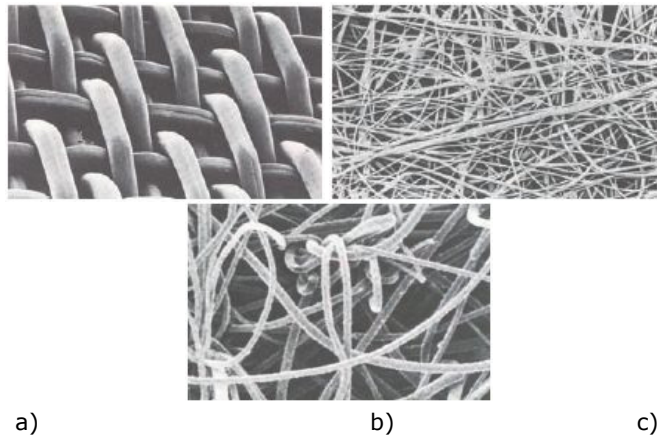


Fig. 2.4. Moduri de fabricare a geotextilelor țesute, tricotate și nețesute



a b c d
 Fig. 2.5. Tipuri de geotextile:
 a) țesute, b) tricotaj, c) mono și multifilament, d) benzi



a) b) c)
 Fig. 2.6. Geotextile:
 a) tricotate, b) nețesute, c) nețesute

Felul de încrucișare/legare a firelor se numește legătură. Procesul de realizare a acestor legături influențează în mod direct și semnificativ caracteristicile materialului geosintetic. Modul de realizare a acestor legături în materialele geotextile se face prin țesere în linie, prin țesere diagonală, țesere cu ace (ace special realizate, al căror capăt ascuțit este prevăzut cu o formă gen cârlig fiind distribuite uniform pe palete), prin țesere cu jet de apă sub presiune (consolidare prin întrețesere) sau termosudare, folosindu-se fibre continue sau fibre discontinue. Din punct de vedere al procesului de fabricare, geotextilele sunt realizate fie prin procedeul *mecanic* (coasere/țesere), fie *adeziv* (lipire) sau *coeziv* (topire). În general, prin țeserea în linie se realizează materiale geotextile rezistente la acțiuni

mecanice, iar țeserea diagonală are ca și rezultat crearea geotextilelor cu țesătură densă. Există și cazuri de dublă țesere pe una sau ambele direcții, toate aceste variante fiind puse în operă în funcție de rolul ulterior al geotextilului și de ce caracteristici principale sunt dorite pentru materialul respectiv. Modul de fabricare a fiecărui geotextil în parte îi modifică acestuia considerabil o gamă largă de caracteristici utile pentru funcția pe care materialul urmează să o îndeplinească pe/în teren.

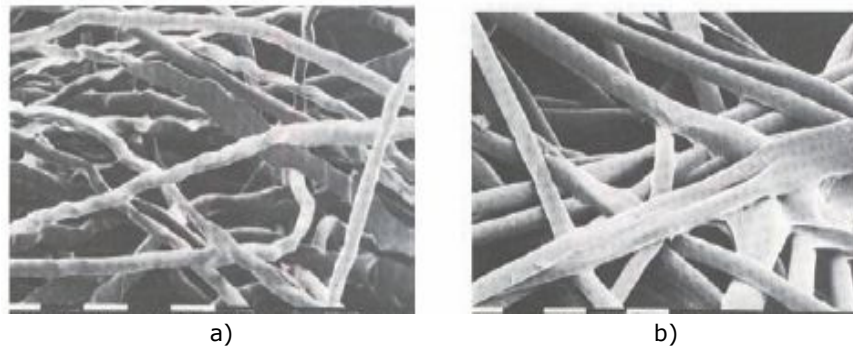


Fig. 2.7. Geotextil din fibră continuă solidificat prin procedeu: a) mecanic, b) termic

Geotextilele realizate prin țesere mecanică sunt în general moi, flexibile și cu o grosime de peste 1 mm, uniform distribuită pe întreaga suprafață a materialului.

Legătura adezivă a fibrelor se realizează prin utilizarea unui liant lichid aplicat prin diferite metode pe materialul textil, care ulterior se întărește prin procedee termice de uscare, de condensare la aproximativ 160°C – 210°C sau de polimerizare. Procedeele adezive formează la punctele de contact a două sau mai multor fibre, legături rigide ce dau materialului geotextil o flexibilitate scăzută comparativ cu cele legate mecanic. Cantitatea și tipul liantului utilizat sunt adaptate potrivit unor cerințe speciale asupra geotextilului (de exemplu comportarea geotextilului folosit în lucrări sub nivelul apei/submersate).

Procedeul coeziv de realizare a geotextilelor presupune utilizarea temperaturilor mari și a presiunii sub care fibrele sintetice formează legături între ele mai puțin rezistente decât cele rezultate cu ajutorul lianților adezivi. Datorită procedeei de realizare aceste geotextile sunt în general mai subțiri, având grosimi între 0,2 până la 1,5 mm și fiind mai compacte, porozitatea lor ajungând la valori de 60-70% (față de până la 90% la materialele cu țesere mecanică). Ca și concluzie se subliniază faptul că la momentul de față, luând în considerare varietatea mare de fabricare a materialelor geotextile, în literatura de specialitate și conform normelor în vigoare termenii de referință pentru cele două mari categorii de geotextile sunt: **materiale geotextile legate mecanic și materiale geotextile legate termic.**

2.2.2.2. Proprietățile geotextilelor

Proprietățile principale și relevante ale geotextilelor se referă la funcțiile pe care acestea le îndeplinesc, acestea fiind cele hidraulice și mecanice.

Proprietăți hidraulice sunt dependente de modul de fabricare al geotextilelor, rolul decisiv avându-l dimensiunile porilor, permeabilitatea și transmisivitatea.

Dimensiunile porilor sau deschiderea porilor unui geotextil determină diametrul materialului granular reținut de geotextil (efectul de filtru) definind astfel eficiența geotextilului. Valoarea diametrului particulelor reținute corespunde cu diametrul mediu al porilor la care este reținută 90% din fracțiunile granulare. Conform studiilor existente [68], în figura 2.8. se prezintă comparativ retenția de particule fine, concluzionând că un material geosintetic țesut permite trecerea unei cantități duble de nisip fin cu granulozitate mai mică de 0,1 în comparație cu un geosintetic nețesut.

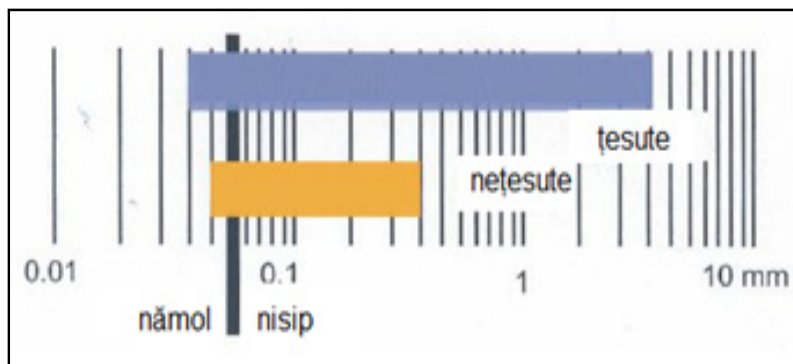


Fig. 2.8. Efectul dimensiunii porilor la geotextile nețesute și țesute

Permeabilitatea depinde de mărimea și distribuția porilor. Datorită părților fine de pământ poate apărea fenomenul de colmatare, motiv pentru care valorile obținute în laborator pot diferi mult față de fenomenul de pe teren. Geotextilele mecanic nețesute au cele mai mari valori ale permeabilității, urmate fiind de geotextilele nețesute legate termic sau chimic și apoi de geotextilele țesute.

Transmisivitatea corespunde permeabilității în planul geotextilului, fiind de asemenea o valoare dată în funcție de mărimea și distribuția porilor, cât și de grosimea geotextilului, care variază în funcție de producător între 0,8 și 3,5 mm, cu greutatea de la 65 până la 400 g/m² la geotextilele de filtrare, dublându-se sau chiar triplându-se dimensiunile la cele de protecție.

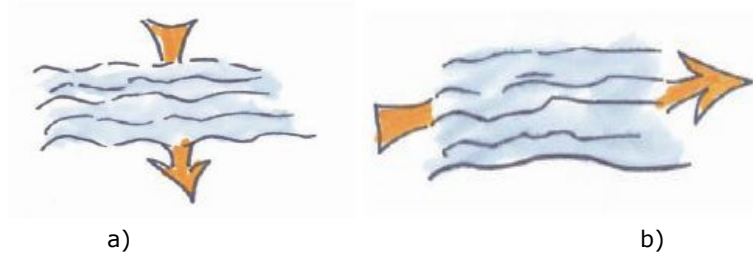


Fig. 2.9. Proprietăți hidraulice ale geotextilelor: a) *permeabilitatea*; b) *transmisivitatea*.

Proprietățile mecanice sunt mult influențate de materia primă utilizată pentru fibre și filamente cât și de modul de fabricare a geotextilului (legarea, coaserea filamentelor). Decisive sunt astfel forța de smulgere/ruptură influențată și aceasta de modul de fabricare al materialului geotextil. La aceeași masă, geotextilele țesute sunt de 3 până la 5 ori mai rezistente la smulgere decât cele nețesute, conform diagramei prezentate în figura 2.10. Comportarea la forță-alungire este un alt indice mecanic dependent de modul de fabricare, solidificare și materia primă implicate în realizarea geotextilului.

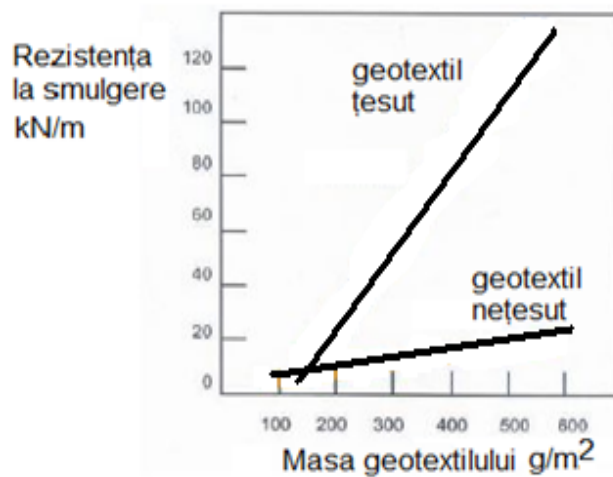


Fig. 2.10. Comportarea la smulgere a geotextilelor

Rezistența materialelor geotextile împotriva agenților organici, baze, acizi, agenți de oxidare, ger și căldură este în principiu ridicată la oricare din materiile prime utilizate la fabricarea geotextilelor [89]. La polipropilenă și polietilenă este necesară adăugarea aditivilor de protecție împotriva razelor UV. În cazul geotextilelor realizate din fibre naturale aceste rezistențe nu există și oricum nu sunt dorite, dat fiind faptul că materialele sunt utilizate tocmai datorită caracteristicii biodegradabile.

2.2.2.3. Funcțiile și domeniul de folosire a geotextilelor

Geotextilele realizate din materiale plastice sunt utilizate în special ca materiale de filtrare, separare sau drenare, cât și în scopul protejării unor elemente sau materiale dintr-o construcție. Geotextilele pot fi utilizate la diferite tipuri de construcții: ziduri de sprijin, drumuri și căi ferate, depozite de deșeuri, construcții hidrotehnice și diverse sisteme de drenaj (drenuri orizontale, drenuri verticale). Se utilizează și pentru protejarea geomembranelor sau a altor materiale contra perforării statice sau dinamice, sau ca separator între stratul de agregat și teren la fundațiile de drumuri și căi ferate.



Fig. 2.11. Geotextil neșesut utilizat la separare de straturi

Deși funcția principală a geotextilelor este cea legată de filtrare și drenare, geotextilele de mare rezistență se folosesc și pentru armare. Aceasta ultimă funcțiune se folosește la stabilizarea de rambleuri și depozite de deșeuri fondate pe terenuri cu capacitate portantă scăzută, precum și la realizarea de structuri de sprijin și taluzuri abrupte din pământ armat.

Caracteristica principală a geotextilelor o reprezintă permeabilitatea lor bună față de lichide și aer. O permeabilitate controlată prin metoda de fabricare a materialului geotextil, care reține particulele solide din pământ, poate îndeplini separat sau concomitent și alte funcții, nu numai pe cea filtrantă-drenantă. De asemenea, este de remarcă eficiența de filtrare, căci o pătură de geotextil de câțiva mm grosime poate înlocui un filtru din nisip de 30 cm.

Așa cum s-a arătat, geotextilele sunt țesături realizate din fibre sintetice, dar pot fi realizate din fibre naturale (iută, fibră de cocos, salcie, cânepă, paie, celuloză), acestea fiind numite **geosaltele biodegradabile**. Ocrotirea ecosistemelor de

factorii exogeni, care tind să le prejudicieze calitatea, este un obiectiv împărtășit atât de sectorul public cât și de cel privat. Fenomenul eroziunii pământurilor este cu siguranță un aspect relevant al acestei probleme și tocmai din acest motiv, soluțiilor de natură sintetică, li s-au alăturat, în cursul timpului și elemente complet naturale (biodegradabile). Conform acestei tendințe, diferitele firme producătoare de materiale geotextile propun sisteme pentru controlarea eroziunii de tip geosintetic, dar și produse complet naturale. Se regăsesc pe piață astfel de produse realizate fie dintr-un singur material biodegradabil, fie din combinații de fibre naturale cum ar fi bio-împletituri din paie și fibre de cocos, disponibile și pre-însămânțate, complet biodegradabile, studiate pentru a garanta o acoperire adecvată a pământului. Aceste soluții sunt aplicabile în cazul terasamentelor din pământ armat, având rolul de protecție împotriva eroziunii taluzurilor acestora.



Fig. 2.12. Geotextile biodegradabile din fibre de cocos, iuta, celuloză (Pavimat, Geocom)

2.2.3. Geogriile

2.2.3.1. Tipuri de geogriile și modul de realizare

Posibilitatea de a realiza folii din mase plastice mai groase de 1-2 cm, a dus la ideea de a crea un nou produs sub forma unei rețele cu goluri mari în raport cu nervurile ei. Pentru a se obține un produs monolit pornind de la folia de bază ce poate fi realizată din polietilenă de înaltă densitate, poliester de înaltă rezistență, polipropilenă, poliamide aromatice, polivinilalcool sau fibre de sticlă, se folosesc următoarele tehnologii (Fig.2.13):

- prin fante tăiate într-o folie de polietilenă, supusă apoi operației de etirare (întindere a fibrelor sintetice în scopul orientării macromoleculelor și al creșterii rezistenței lor la o temperatură controlată), de regulă pe două direcții: mai întâi în sens longitudinal și apoi în sens transversal, astfel încât să se evite fracturarea structurii moleculare;
- prin ștanțarea unor goluri de obicei circulare, după care se continuă procesul de etirare ca și în prima tehnologie;
- producerea de benzi independente care se dispun în rețea, iar la noduri sunt sudate sau lipite prin topire-compresiune.

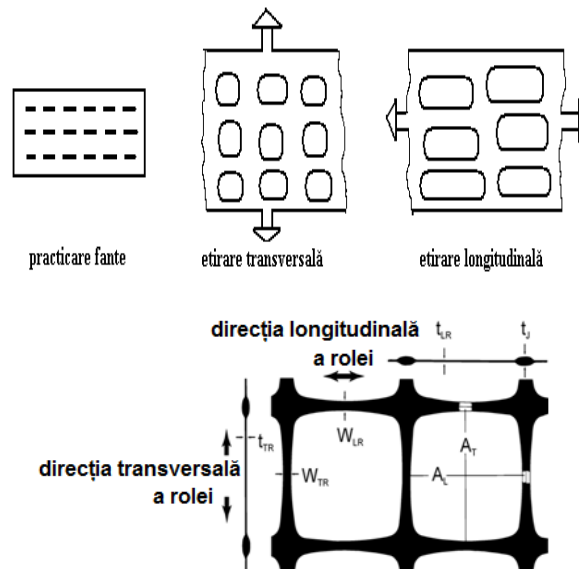


Fig. 2.13. Realizarea geogrilelor prin etirare sau stanțare și etirare

Produsul realizat, reprezintă un caroiaj plan, regulat, compus dintr-o rețea geometrică deschisă și repetitivă, ale căror elemente realizate prin extrudare, lipire sau întrețesere, sunt legate între ele și ale căror deschideri/ochiuri sunt mai mari decât dimensiunea materialului granular cu care intră în contact. Există multe variante de geogrila, diversificate atât prin metoda de fabricare, modelul geometric cât și prin materia prima utilizată. Pot fi: biaxiale (bietirate), monoaxiale (monoetirate), cu noduri integrate (asigură continuitatea în dreptul nodurilor), țesute sau lipite.

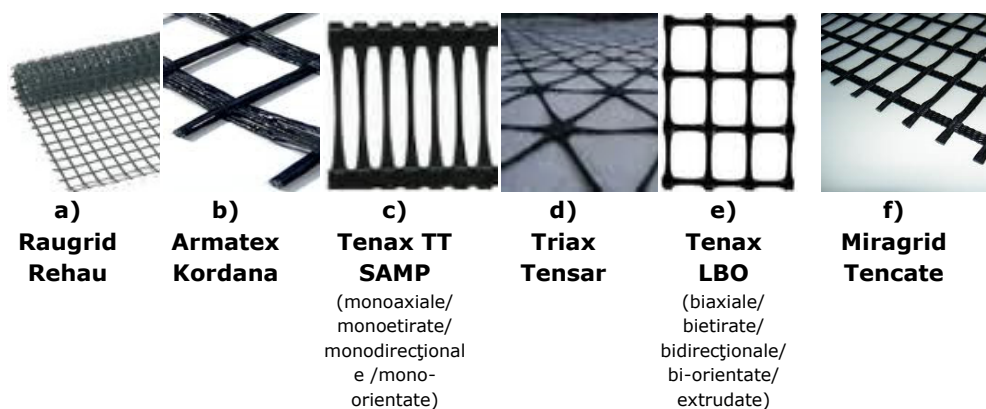


Fig. 2.14. Tipuri de geogrile

Geogriile, indiferent de producător, au câteva caracteristici comune cum sunt:

- suprafața golurilor este foarte mare în raport cu cea a nervurilor ce constituie rețeaua;
- în noduri grosimea este de 2-3 ori mai mare decât grosimea nervurilor;
- rezistențe diferite pe direcțiile transversală și longitudinală.

2.2.3.2. Folosirea geogriilor la lucrări de inginerie geotehnică

Înglobate în pământ, sau în alt material, geogriile acționează atât prin frecarea ce se produce între rețea și materialul de pe ambele fețe, cât și prin interacțiunea geogrii cu materialul respectiv, în special după compactarea ce are loc cu ocazia punerii în operă. Sunt folosite la armarea unor straturi din materiale granulare necoezive, acționând asupra masei agregatelor, reducând deplasarea laterală a acestora (refularea) și măbind deci capacitatea portantă, datorită înclăștării materialului granular în geometria geogrii. Motiv pentru care, se pot realiza sub diverse forme de rețea, cum ar fii: pătrată, dreptunghiulară, dreptunghiulară alungită subțire sau groasă, romboidală sau triunghiulară.

Geogriile sunt utilizate la armarea stratului de fundație sau al stratului de formă la drumuri și la căi ferate, a umpluturilor, la rambleuri, la stabilizarea și consolidarea pantelor instabile, realizarea de structuri de sprijin (ziduri) din pământ armat, la saltele geocelulare pentru construcții realizate pe terenuri moi sau umpluturi neomogene, la drumuri de acces sau drumuri forestiere, în scopul măririi capacității portante a acestora [14]. Pentru drenare geogriile se utilizează în asociație cu alte materiale geosintetice (geotextile sau geomembrane) pentru terenuri dificile de fundare (de exemplu pământuri sensibile la îngheț) sau la diferite construcții, de genul ziduri de sprijin având cele mai variate fațade, depozite de deșeuri, rambleuri.



Fig. 2.15. Zid de sprijin armat cu geogriile în sistem TenCate

Punerea în operă a geogrilelor este simplă, legătura dintre plase se face ușor prin petrecere și apoi prin coasere sau legare cu ace/cuie/ancore; geogrilele nu sunt sensibile la acțiunile mecanice ale granulelor mai mari din stratul de umplutură, suportă compactarea imediat după instalare și nu se degradează datorită flexibilității sporite [102].

În momentul de față există o cerință tot mai mare pentru executarea unor proiecte care să protejeze mediul înconjurător și să necesite investiții minime pentru drumuri, platforme portuare, parcuri, zone aeroportuare și platforme situate pe terenuri slabe sau instabile. Geogrilele oferă soluții de înaltă performanță care îndeplinesc cerințele de ordin financiar și de protecție a mediului. În momentul în care materialul granular de umplutură așternut peste geogrila este compactat, acesta se încleștează în aperturile (deschizătura, orificiul) geogrilei, sporind rigiditatea ansamblului material de umplutură – geogrile și facilitând suportarea unor încărcări mari la deformații foarte mici [103].

2.2.4. Georețele

În marea lor majoritate georețelele sunt structuri tridimensionale poroase din fire polimerice (monofilamente) și/sau din alte materiale (sintetice sau naturale), solidificate mecanic, termic, chimic și/sau în alt mod, care rețin particule de pământ, rădăcini și plante mici, fiind utilizate în aplicații de inginerie geotehnică și civilă. Au în general un indice de permeabilitate de peste 95% și grosimi ce variază între 9 și 25 mm. Georețelele sunt adesea utilizate împreună cu geotextile sau geogrile, fie unite direct din fabricație (formând astfel geocompozitele), fie mai rar, suprapuse la fața locului. Funcția principală a acestor materiale este cea de protecție împotriva eroziunii de suprafață a terenului, iar ca și rol secundar pot fi utilizate cu succes ca și materiale drenante.



Fig. 2.16. Exemplu de folosire a georețelelor ca strat de protecție a unui taluz împotriva eroziunii

Fiind adesea utilizate pe suprafețe înclinate, georețelele se fixează cu ajutorul unor picheți de obicei în formă de U, având dimensiuni de aproximativ 30 cm, în majoritate fiind confecționate din oțel de 8 mm.

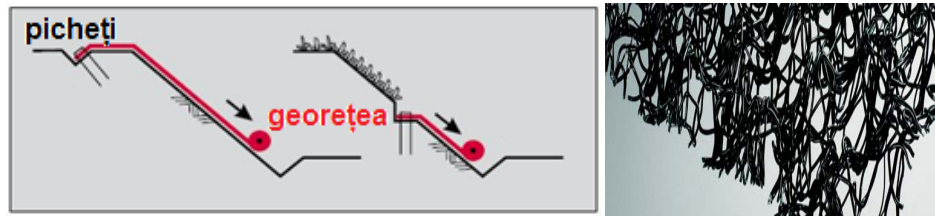


Fig. 2.17. Fixarea georețelor pe suprafețe înclinate

Georețelele se aștern pe terenuri pregătite în prealabil, defrișate și ușor compactate, iar materialele se suprapun pe toată lungimea lor (în funcție de instrucțiunile de instalare a fiecărui producător, în medie 10 cm). Este important la astfel de lucrări să se realizeze contactul dintre georețea și teren pe toată suprafața acestuia, motiv pentru care în unele cazuri sunt folosite și sfori trase în diagonală peste suprafața derulată a georețelei.

Georețeaua se acoperă de sus în jos cu sol fertil ce se compactează ușor după împrăștiere. Grosimea stratului nu trebuie totuși să depășească 5 cm, în caz contrar, efectul de protecție împotriva eroziunii este pierdut. În funcție de proiect, solul este fie gata însămânțat, fie va fi stropit la final cu fertilizator și semințe, manual sau mecanizat.



Fig. 2.18. Stabilizarea antierozivă pe malul unui canal de irigații efectuată cu georețea tip KMat L TeMa-Tegola

Georețelele oferă o posibilitate rapidă de înierbare a taluzurilor indiferent de unghiul de înclinare al acestora. Este important că efectul de protecție împotriva eroziunii de suprafață este resimțit încă înainte de creșterea vegetației pe pantă, ceea ce face să aibă utilizare adecvată pentru aplicațiile de inginerie ambientală împotriva erodării pantelor. Sunt utilizate la orice fel de pante: taluzuri, rambleuri, suprafețele deponeelor, șanțuri etc. Structura specială tridimensională reține

particulele de pământ chiar și sub acțiunea apei de ploaie, măbind gradul de coeziune a terenurilor asigurându-le deci stabilitatea.

2.2.5. Geocompozite

Beneficiind de toate avantajele geosinteticelelor puse în operă în ultimii ani, utilizatorii au încercat să găsească noi combinații din gama acestor produse, care să îmbine proprietățile și funcțiile unora cu ale celorlalte, astfel încât s-a ajuns la o serie de produse complexe denumite geocompozite. Sunt combinații de materiale din care în general cel puțin unul este un material geotextil. Dată fiind marea lor diversitate, se poate spune că geocompozitele sunt alcătuite din structuri, sandvișuri din geosinteticele trecute în revistă anterior combinate cu alte structuri polimerice, îndeplinind funcții extinse sau comasate în raport cu acestea. În funcție de tipul geosinteticelelor și a altor materiale cu care intră în combinație, precum și de modul de realizare a legăturilor dintre acestea, în practică există o gamă destul de largă de geocompozite.

2.2.5.1. Geocompozite formate din două straturi de geotextil legate mecanic

Aceste geocompozite sunt alcătuite din două straturi de geotextil legate mecanic, realizate din polipropilena stabilizată la razele ultraviolete, fiecare având grosime și densitate diferită, respectiv fibre diferite în componență. Un astfel de geocompozit poate fi un excelent material de filtrare, având ca și rezultat un număr optim de constricții ce influențează benefic capacitatea de retenție a pământului, rezultând un risc scăzut de colmatare. Aceste geocompozite combină efectul optim de filtru cu o bună duranță față de solicitările mecanice. Având atât funcția de filtrare cât și pe cea de protecție, sunt materiale ideale pentru utilizare la lucrări hidrotehnice și canale, unde apar solicitări mecanice mari, la apărare de mal și sparge val, la diguri și baraje. Caracteristicile importante ale acestor geocompozite sunt: grosimea ce variază de la 3 la 7 mm, masa cuprinsă între 350 și 800 g/m², rezistența mare la poansonare și permeabilitatea cuprinsă în general între 60 și 30 mm/s.



Fig. 2.19. Geocompozit tip Polyfelt F TenCate

2.2.5.2. Geocompozite realizate dintr-un geotextil și o rețea de polimeri sau fibre de sticlă

Rețeaua poate fi realizată din fibre de polietilenă de înaltă densitate, fibre de sticlă, (fibră de sticlă tip E), polivinil alcool, fiind fabricată ca și o rețea ordonată cu ochiuri de dimensiuni bine stabilite sau ca și conglomerat de fire continue. Aceste materiale oferă o bună armare în timp a pământurilor datorită rețelelor din componență, prezentând deformații mici sub acțiunea solicitărilor de lungă durată și o bună conlucrare cu diferitele pământuri, datorită structurii și flexibilității materialului. Totodată prezintă și protecție ridicată împotriva deteriorării mecanice, datorată combinației de materiale din componența sa ca și o excelentă proprietate de filtrare în timp.

Ca materiale de armare se folosesc atât la construcții de sprijin din pământ armat cât și la consolidarea și stabilizarea alunecărilor de teren.

Alunecările de teren, naturale sau antropice, sunt fenomene fizico-geologice frecvent întâlnite, în special la pământurile coezive și în zonele cu precipitații abundente. Astfel de alunecări pot fi consolidate prin excavarea și utilizarea pământului alunecat și armarea acestuia cu straturi de geocompozit de înaltă rezistență. Geocompozitele permit astfel utilizarea unui material de umplură de calitate relativ slabă pentru realizarea de taluzuri, prezentând numeroase avantaje din punct de vedere financiar, a protecției mediului și realizării construcției. Recurgându-se la utilizarea armării pământului cu geocompozite rezultatul este diminuarea suprafeței ocupate, reducerea cantității de material de umplură necesar, utilizarea materialelor locale disponibile pentru realizarea acestor construcții simple și rapide.

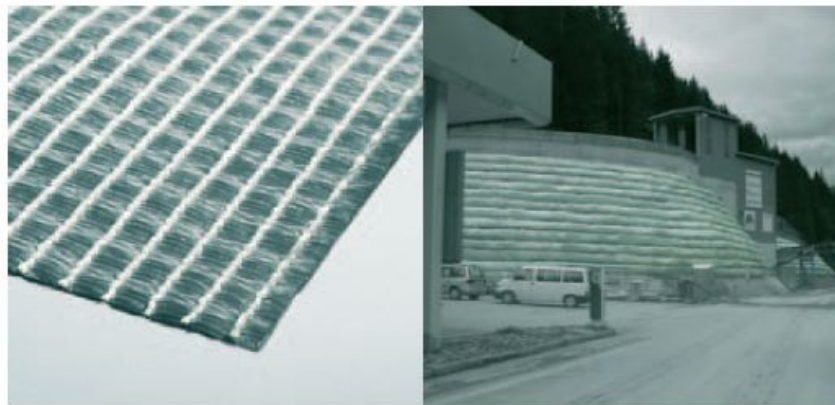


Fig. 2.20. Geocompozit pentru armarea pământului tip Rock PEC TenCate

La utilizarea geocompozitelor în domeniul rutier se observă o remarcabilă îmbunătățire a durabilității suprafeței de rulare prin detensionarea straturilor

portante, etanșarea suprafețelor datorita capacității optime de retenție a bitumului, împiedicând pătrunderea umezelii și prelungind durata de exploatare. Reducerea grosimii stratului de asfalt cu până la 40%, întârzieri semnificative la apariția fisurilor de reflexie, reducerea fâgașelor cu până la 70%, prelungirea duratei de exploatare, instalarea ușoară și rapidă sunt avantaje dovedite în timp, datorită utilizării unor astfel de materiale concepute pentru înlăturarea problemelor cunoscute [107]. Caracteristicile principale ale acestor produse sunt retenția de bitum, rezistența la întindere pe ambele direcții și geometria fibrelor atașate de geotextil.

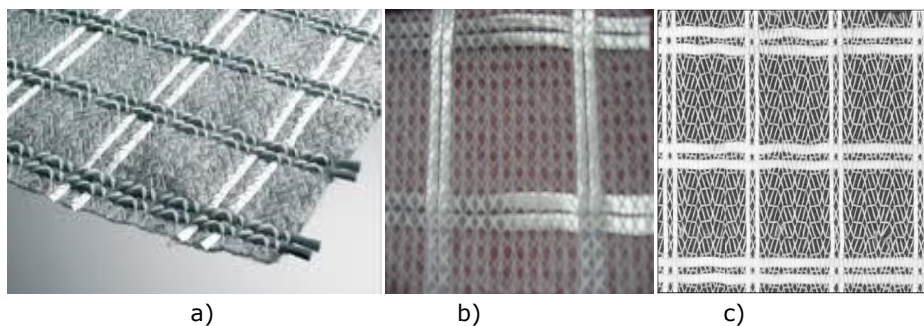


Fig. 2.21. Geocompozite pentru armarea asfaltului
a) PGM-G 50/50 (Tencate), b) Armatex RSR (Kordana), c) Galsstex (Tensar)

2.2.5.3. Geocompozite realizate dintr-un geotextil sau geogrilă și o georețea

Deseori în activitatea de proiectare, problemele referitoare la controlul și gestionarea evoluției comportamentului apei în pământ, constituie una dintre cele mai mari provocări pe care proiectantul trebuie să fie în măsură să o înfrunte. În cea mai mare parte a cazurilor, este necesar să se prevadă intervențiile de drenare capabile să garanteze funcționalitatea și stabilitatea lucrării. Odată cu apariția materialelor geosintetice, există posibilitatea de control în mod oportun a prezenței apei în teren garantând un nivel de siguranță sporit. Produsele geosintetice adecvate pentru această funcție numite și geocompozite drenante, sunt realizate dintr-un geotextil și o georețea sau geogrilă și georețea, materiale caracterizate printr-o grosime de ordinul centimetrilor, obținute prin cuplarea de elemente filtrante și de separare la o structură tridimensională internă. Această structură poate fi constituită din monofilamente extrudate de polipropilenă sau din foi turnate la cald din polietilenă de înaltă densitate (HDPE), caz în care geotextilul poate fi așternut pe una sau ambele părți ale rețelei. Datorită acestor structuri aerisite fluxul apei este neîntrerupt, astfel că aceste geocompozite pot fi utilizate cu succes la lucrări de drenare, scurgere și canalizări, caracteristica lor principală fiind buna

capacitatea hidraulică sub anumite încărcări. Se obține o bună capacitate de retenție a pământului și o permeabilitate optimă acolo unde este necesară.

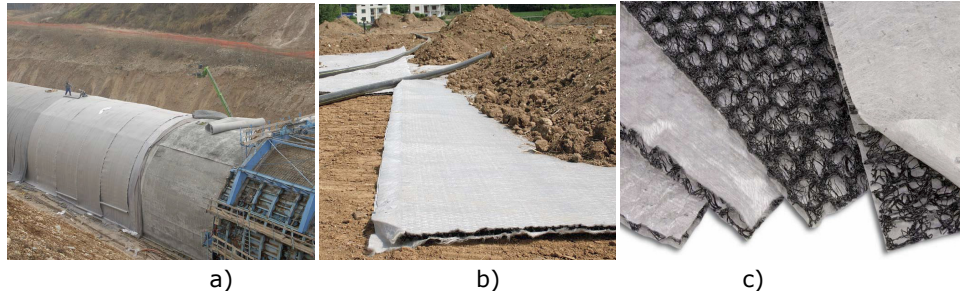


Fig. 2.22. Exemplu de folosire a geocompozitelor
a) Drenajul la extradrosul unei galerii (realizată cu QDrain C 20P)
b) Acoperirea unei gropi de gunoi (realizată cu QDrain)
c) geocompozit tip Tensar Qdrain

Geocompozitul drenant este realizat dintr-un miez intern în formă de con, cu indice ridicat de permeabilitate, obținut din monofilamente sintetice din polipropilena extrudată, răsucite și sudate în punctele de contact, peste care sunt cuplate prin procedeu termic două geotextile neșesute. Acestea au sarcina de a filtra apa, împiedicând particulele din pământ să producă colmatarea la nivelul miezului intern, capabil să conducă și să dea scurgere apei captate, menținând produsul flexibil și adaptabil la orice suprafață.

Cazul aplicării materialului într-un plan orizontal sau sub un anumit unghi, se regăsește la grădini suspendate, acoperirea superioară a gropilor de gunoi, acoperirea bazei gropilor de gunoi, acoperiri de pământ, galerii, canale. Așternerea în plan vertical intervine la șanțuri de drenare, pereți de susținere, galerii, pământ armat.

O altă variantă de compozit geotextil - georețea, este geo-împletitură antierozivă tridimensională obținută din monofilamente sintetice din polipropilena extrudată, răsucite și sudate în punctele de contact. Constituită dintr-o structură tridimensională cu indice ridicat de permeabilitate, materialul este cuplat cu bio-filtru de culoare verde, un tip de geotextil complet biodegradabil. Bio-filtrul, compus din fibre de celuloză, încorporează în interiorul său semințe de cea mai bună calitate și cantitatea necesară de fertilizanți, care garantează creșterea unui covor perfect de iarbă. Aceste genuri de materiale geocompozite își găsesc aplicabilitate în cazul pantelor mai abrupte. Pentru acest motiv este folosit cu succes pentru cerințe de reînnoire ambientală și de reînverzire unde se dorește folosirea de tehnici eficiente de peisagistică în scopul obținerii unei acoperiri eficiente, perfectă și omogenă cu iarba fără folosirea de hidro-însămânțări.

Des utilizate mai ales la taluzuri pentru o armare de suprafață și totodată o protecție împotriva eroziunii sunt geocompozitele realizate din geogrilă și georețele, numite și geoîmpletituri antierozionale, care se adaptează la cele mai diverse cerințe

din domeniul controlării eroziunii superficiale și al refacerii mediului. Tendința crescândă de acoperire a terenurilor cu beton și continua defrișarea a zonelor muntoase și de deal au intensificat fenomene precum curgeri de teren, alunecări de teren, căderi de piatră etc. Prevenirea eroziunii de suprafață este o componentă fundamentală a temelor actuale de protejare a mediului ambiant. Produsele și tehnicile antierozive împiedică riscurile de desprindere a solurilor fine menținându-le împreună cu vegetația, limitează la maxim acțiunea de spălare a solului de către apele pluviale, protejează substratul de cultură la acțiunea vântului, fixează semințele utilizate pentru reînverzire și favorizează germinația.

Geoîmpletiturile antierozive tridimensionale sunt obținute din monofilamente sintetice din polipropilena extrudată, răsucite și sudate în punctele de contact. Acestea sunt structuri tridimensionale cu un indice de permeabilitate ridicat, adecvate pentru a fi combinate cu material granular, în general pământ vegetal. Structura lor specială fiind întărită de o geogrilă, conferă materialului pe lângă calitățile unei georețele o mai mare rezistență la întindere.

2.2.5.4. Geocompozite realizate dintr-o membrană HDPE cuplată cu un geotextil neșesut

Au funcție filtrantă, iar forma particulară tronconică, cilindrică sau prismatică a suprafeței lor le imprimă rezistență sporită la compresiune și strivire (în limitele propriului câmp de aplicații), fără pierderea capacităților hidraulice. Aplicațiile principale ale acestor geocompozite sunt cele la care este necesară obținerea unui nivel bun de drenaj în condiții de presiuni ridicate (10 ... 50kPa). Grădinile suspendate, care au culturi neintensive, reprezintă un exemplu de aplicare pe orizontală, la care aceste geocompozite își pot proba calitățile. Aplicarea în direcție verticală, este indicată pentru protejarea și drenarea fundațiilor și a construcțiilor de susținere.



Fig. 2.23. Protecție mecanică și drenaj la un perete de susținere (Isostud Geo P - Tensar)

2.2.5.5. Geocompozite realizate din geotextil și geogrilă (geosaltele)

O combinație des utilizată este geocompozitul realizat din geotextil și geogrilă denumit și geosaltea, în care geotextilul are în general rol principal de filtrare, putând fi montat pe una sau ambele părți ale geogrilei. Geogriila este realizată din monofilamente de polipropilenă rezistentă termic sau fibră de sticlă. Forma geogrilei diferă de la producător la producător, oferind în funcție de geometria acesteia avantaje multiple și în concordanță cu felul de pământ sau alt material cu care intră în contact. Astfel, acestea se împart în general în materiale pentru drenarea apei sau geocompozite de armare.

Geocompozitele pentru drenare de acest gen nu se deformează sub sarcini ridicate, păstrând un nivel ridicat și continuu de drenare a lichidelor/transportul apei în orice condiții, având totodată și rezistențe chimice desăvârșite. Sunt utilizate acolo unde este necesară drenarea sub încărcări mari cum este cazul deponeelor, la cuve și canale, tunele și conducte, culei și ziduri de sprijin, acoperișuri terasă, drenuri la subsoluri, etc.



Fig. 2.24. Protejarea unei conducte (geocompozit tip Polyfelt DC)

În domeniul rutier foarte apreciat este și materialul compozit realizat din geotextil și geogrilă, cu posibilitatea ca acesta să fie din fabricație impregnat sau nu cu bitum. Materialele pot fi realizate din polipropilene sau fibre de sticlă. Geocompozitul oferă noului sistem rutier o mai bună duranță în timp fie prin retenția de bitum fie prin îmbrăcămintea bituminoasă pe care o posedă, rezultând o extraordinară conlucrare între straturi datorată capacităților de detensionare și oprire a fisurilor în timp.

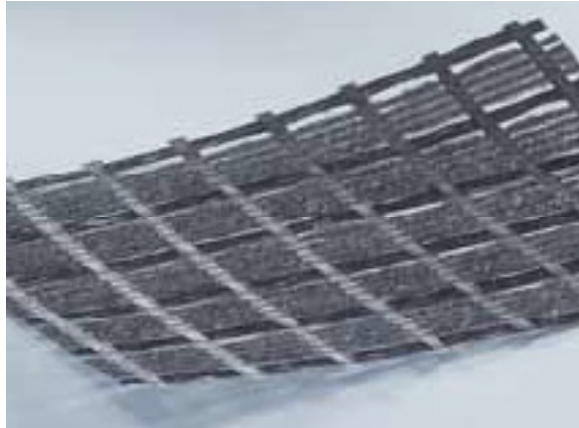


Fig. 2.25. Geocompozit utilizat pentru armarea asfaltului (tip Beco Bebit)

2.2.5.6. Geocompozite bentonitice

Geocompozitele bentonitice sunt alcătuite din două straturi de geotextil care confinează un strat de bentonită sodică naturală, cu grad înalt de umflare, stabilizat cu aditivi și cu un polimer lichid. Se folosesc ca barieră minerală de impermeabilizare flexibilă, înlocuind cu grosimea lor de cca. 5 mm un strat de argilă compactată cu grosimi de la 0,70 m până la 2 m în raport cu caracteristicile de permeabilitate ale amplasamentului, simplificând astfel execuția lucrării prin diminuarea considerabilă a volumelor de pământ transportate și puse în operă și nu în ultimul rând oferind posibilitatea măririi volumului util al bazinelor impermeabilizate (în cazul depozitelor de deșeuri). Geocompozitele bentonitice, prin caracteristicile și alcătuirea lor prezintă avantajul de a se mula perfect pe denivelările stratului suport.

Geocompozitele bentonitice pot fi folosite pentru depozite de deșeuri menajere și deșeuri industriale periculoase, construcții hidrotehnice, acumulări, lagune, construcții civile, impermeabilizări de fundații.

Impermeabilizările cu geocompozite bentonitice, spre deosebire de impermeabilizările realizate prin așternerea și compactarea unor straturi de argilă elimină necesitatea testelor costisitoare și de lungă durată pentru determinări de permeabilitate în situ. Acest mare avantaj derivă din faptul că aceste materiale sunt fabricate industrial, în condiții de control permanent al calității (grosime, rezistență, permeabilitate).

În cazul perforărilor obișnuite, inerente oricărei lucrări de impermeabilizare, spre deosebire de geomembrane (folii polimerice impermeabile - HDPE, LDPE, PVC) geocompozitele bentonitice se autoetansează, mărandu-și volumul în contact cu lichidul. În cazul unor avarii de amploare, stratul impermeabil realizat prin utilizarea unui geocompozit bentonitic se reface prin simpla suprapunere a unei fâșii de

material nou, fără a fi nevoie de o sudură etanșă propriu-zisă ca în cazul geomembranelor polimerice [13].

În momentul în care acest material este supus acțiunii apei, bentonita se umflă, obținându-se un nivel de etanșare determinat prin teste corespunzător unui coeficient de permeabilitate de 8×10^{-9} cm/sec. Există și variante în care una din foliile între care este intercalată bentonita, să fie chiar și o geomembrană. În acest caz, dacă geomembrana este înțepată se produce același fenomen de umflare și autoetanșare a bentonitei. Materialul are în principiu o grosime de aproximativ 8 mm și este deosebit de robust, rezistând bine în special la poansonare; el se poate aplica mulându-se pe terenuri cu granule mai mari. Materialul asigură în același timp, după caz drenarea lichidelor din stratul superior sau inferior elementului etanș și îl ferește de presiuni importante ale apei. Este deci un bi- sau multistrat, drenant, etanș, iar proprietățile de etanșare ale pudrei de bentonită nu sunt afectate nici de uscarea ei și nici de fenomenul de îngheț-dezghet.



Fig. 2.26. Impermeabilizarea și încapsularea unui depozit de deșeuri realizat de Geocons

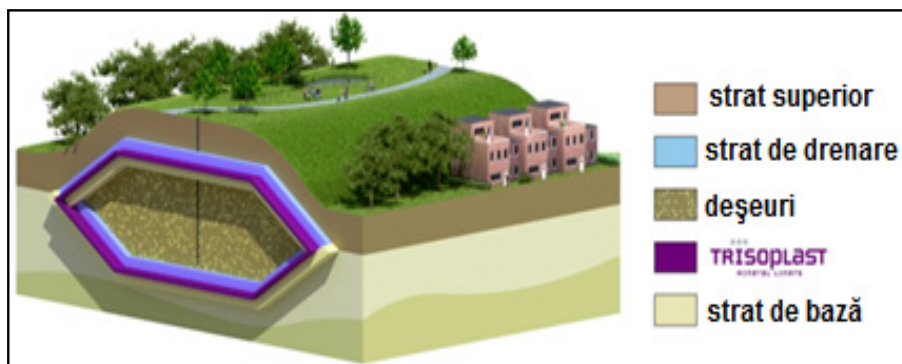


Fig. 2.27. Depozit de deșeuri realizat în varianta Trisoplast

Geocompozitele bentonitice, al căror element activ este o bentonita (argilă cu conținut mare de montmorillonit) constituie bariere extrem de eficiente împotriva lichidelor, vaporilor și gazelor. Printre aplicațiile în care geocompozitele bentonitice performează excelent se numără:

- etanșări de bază la depozite de deșeuri;
- etanșări de suprafață (acoperiri) la depozite de deșeuri;
- îndiguiri;
- etanșări de rezervoare;
- lucrări miniere;
- etanșări la lucrările de construcții civile și în lucrări de infrastructură;
- izolarea terenurilor contaminate;
- încapsulările zonelor contaminate;
- barierele de gaze și vapori;
- etanșările de siguranță;
- impermeabilizările digurilor, barajelor, canalelor;
- impermeabilizări la haldele de șlam;
- impermeabilizări la haldele de zgură și cenușă;
- protecția apei freatică;
- bariere verticale.



Fig. 2.28. Impermeabilizarea unui canal de colectare a apelor scurse de pe pista unui aeroport cu Bentofix, Naue

2.2.6. Geocelule

Geocelulele sunt sisteme de confinare și armare tridimensională, celulare, fiind formate din benzi perforate și texturate, care îmbunătățesc considerabil caracteristicile materialelor de umplere. Pentru a asigura o conlucrare cât mai bună cu materialul de umplere, materialul geosintetic este adesea texturat sau cu goluri practicate în pereți, asigurând un drenaj eficient și permițând după caz și dezvoltarea vegetației. Alcătuite din membrane de polietilenă de înaltă densitate (HDPE), cu perete plin sau perforat (funcție de poziționarea lor pe plan inclinat sau

orizontal și de materialul cu care vor fi umplute), înălțimea peretelui este în general între 5 - 20 cm, cu 20; 30; 40 celule/mp, fâșia de geosintetic/peretele măsurând 1 - 2 mm. Realizate dintr-un material permeabil, filtrant și cu proprietăți mecanice remarcabile, acestea formează un "fagure de miere" cu celule deschise urmând a fi umplute cu pământ, piatră spartă sau beton. Ca și geometrie există multe variante de secțiuni (romb, hexagon, oval) și culori.



Fig. 2.29. Geocelule tip Geotexcelda

Geocelulele sunt utilizate ca și soluții pentru creșterea capacității portante ale structurilor rutiere și la platforme în urma cedării materialului din fundație sau a instabilității materialului din patul drumului. Acest sistem asigură o bună stabilizare, diminuând fisurile din stratul de suprafață. Sistemul creează o structură semirigidă, care conduce la reducerea semnificativă a stratului de formă, conferă timp de exploatare îndelungat și reduce considerabil costurile de reparație și întreținere.

Ca și mecanism sistemul de confinare celulară îmbunătățește caracteristicile materialului de umplere, adăugând coeziunii materialului o coeziune aparentă. Sistemul controlează eforturile tangențiale și deplasarea laterală a materialului de umplere. Rezistența periferică a celulelor, rezistența pasivă a celulelor adiacente și interacțiunea dintre materialul de umplere și pereții texturați ai celulelor conduc la obținerea unor rezultate remarcabile în comparație cu alte soluții [3].



Fig. 2.30. Geocelulele tip Armater GL Geosintex, Eurocel Stefiprimex. Exemplu de punere în operă

În ultimii ani a apărut o adevărată explozie în utilizarea sistemului geocelular la realizarea structurilor de sprijin, deoarece de cele mai multe ori reabilitările și lărgirile de drumuri și autostrăzi necesită taluzuri, pante abrupte ce trebuie să se încadreze în condiții de spațiu limitate. De asemenea, dezvoltarea proprietăților industriale, rezidențiale și comerciale în imediata vecinătate a drumurilor impune luarea unor măsuri speciale ce sunt costisitoare. În aceste situații sistemul geocelular este soluția cea mai eficientă, putând asigura:

- lărgirea drumului într-un spațiu limitat;
- adăugarea unei benzi de trafic sau de parcare;
- executarea spațiilor de acces de urgență;
- stabilizarea canalelor și cursurilor de apă din vecinătate;
- executarea unor sisteme de retenție sau de liniștire a apelor pluviale;
- repararea unor structuri deteriorate și reparații în cazul alunecărilor de teren;
- executarea barierelor de siguranță de-a lungul drumurilor;
- utilizarea ca absorbante de energie și bariere fonice.

Sistemul de protecție a canalelor cu geocelule conferă o gamă largă de protecții flexibile pentru canalele deschise și structurile hidraulice. Sistemul conferă stabilitatea și protecția canalelor expuse eroziunii, de la debite mici la debite mari, intermitente sau continue. Astfel, se îmbunătățesc semnificativ performanțele hidraulice ale materialelor convenționale de protecție, cum sunt agregatele, anrocamentele și vegetația, prin confinarea acestora în structura celulară. De asemenea, se poate obține o structură flexibilă de beton pentru căptușirea canalelor. Pot fi proiectate pentru condițiile specifice lucrării, astfel încât să fie compatibile cu mediul local, să fie ecologice și estetice și să corespundă debitelor previzionate și solicitărilor hidraulice asociate. Eficiența hidraulică și rugozitatea pot fi modificate pentru a controla debitele. Pot fi luate în discuție cerințe de drenaj și potențialul de deformare în cadrul structurii.

Sistemul geocelular pentru protecții de taluz și protecții costiere confinează, ranforsează și reține stratul superficial de sol și materialul de umplere, controlează mișcările și alunecările provocate de forțele hidrodinamice și gravitaționale. Conferă o protecție eficientă a taluzului și confinează materialul de umplere granular: nisip, pietriș, bolovăniș.

Avantajele multiple sunt date și de gama largă de utilizare constructivă a acestor materiale, amintind următoarele:

- se obține o bază solidă, cu rezistențe mari la încovoiere;
- la drumuri sistemul acționează ca o placă semirigidă prin distribuirea laterală a sarcinilor reducând presiunea asupra patului drumului;
- reduce amplitudinea deformațiilor verticale;
- controlează tasările diferențiate și totale chiar și în cazul terenurilor slabe;
- permite utilizarea materialelor locale ca materiale de umplere.

Cercetările asupra comportării agregatelor confinate cu acest sistem, față de cele neconfinate arată o scădere a grosimii și a greutateii elementelor structurale cu

50% sau chiar mai mult, în cazul celor confinate. De asemenea, rezultatele cercetărilor arată:

- creșterea de peste 10 ori a numărului de încărcări ciclice ce conduc la apariția deformării permanente în cazul materialelor confinate față de cele neconfinate;
- sporirea stabilității prin integrarea tendoanelor în cazul taluzurilor abrupte, amenajărilor costiere sau atunci când geomembrana sau un teren tare, bolovănos nu permite ancorarea cu țărugi metalici;
- sistemul celular permite obținerea unor pante foarte abrupte sau chiar suprafețe aproape verticale, stabile structural sub propria greutate și față de factorii externi impuși, și care minimizează fenomenul de eroziune;
- eficiența sistemului nu este numai tehnică ci și economică, față de soluțiile convenționale; costurile pot fi mai mici cu 25% până la 30 % față de vechile soluții în care se utiliza betonul;
- structurile realizate cu geocelule se remarcă prin durabilitate și rezistență față de factorii fizici și chimici;
- acest sistem elimină orice potențial de exfoliere, fragmentare, măcinare care poate apărea în cazul structurilor realizate cu alte materiale;
- sistemul poate fi utilizat la structuri expuse apei marine, pământurilor cu PH ridicat, sărurilor utilizate pentru dezgheț sau altor produse chimice.

Materialele de umplere pot fi extrem de variate: nisip, pietriș, balast, beton, sol vegetal.

2.2.7. Geotuburi

Geotuburile sunt elemente de protecție împotriva eroziunii, elemente de construcție tip sparge val sau de completare a unor structuri subacvatice. Geotextilele fiind materiale foarte permeabile, filtrează particulele de pământ și permit dezvoltarea rădăcinilor plantelor, astfel încât impactul pe care îl produc asupra mediului este minim. Folosite sub formă de geotuburi și geocontainere, oferă o protecție eficientă împotriva antrenării hidrodinamice a particulelor fine, în cazul pilelor și culeelor de pod sau în cazul structurilor longitudinale și transversale din albie.

Dimensiunile geotubului se stabilesc prin calcule de dimensionare în funcție de datele hidraulice locale cum ar fi: înălțimea valurilor, frecvența acestora, viteza apei. Tuburile pre-confecționate se umplu la locul punerii în operă cu un amestec de apă și nisip cu ajutorul unei hidropompe. Avantaje folosirii unui astfel de produs sunt:

- execuția rapidă a lucrărilor, fără a fi necesară o tehnologie complexă;
- geotuburile pot fi adaptate la dimensiunile și formele individuale ale lucrării;
- permit o instalare fără pericole asupra celor care le instalează;
- coliziunea cu ambarcațiuni mici este fără efecte negative;

- nu necesită întreținere în exploatare;
- sunt rezistente la eroziune și apă sărată.

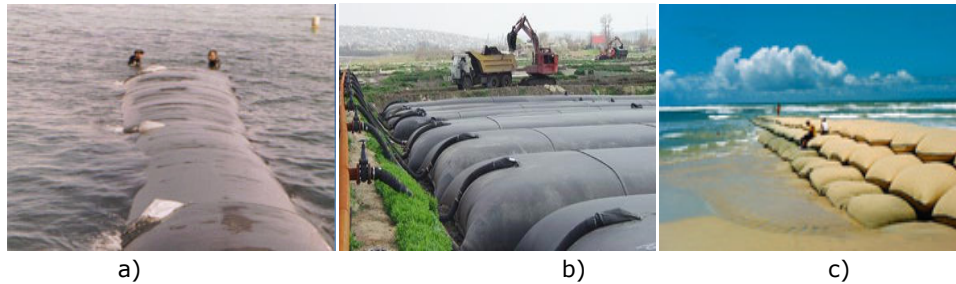


Fig. 2.31. Exemple de lucrări cu geotuburi

- a) realizarea unei structuri subacvatice cu geotuburi tip SolTaine; b) drenarea unui teren mâlos; c) apărare de mal cu soluție geotuburi tip Terrafix Naue

În funcție de geosinteticul din care este realizată învelitoarea exterioară a geotubului, există două categorii principale de folosire a acestei soluții. Este vorba fie de utilizarea tuburilor cu *rol de container*, ceea ce presupune că tubul este fie impermeabil, fie cu o retenție extraordinară asupra anumitor agregate, rigid, etanș și rezistent la agenți chimici.

Cu ajutorul unor pompe speciale se umple cu reziduuri de cereale, pământ contaminat periculos sau deșeuri. Tot cu rol de container sunt utilizate geotuburi umplute cu nămol la fața locului, acolo unde se dorește o epurare superficială a apei și protecție de mal totodată.



Fig. 2.32. Umplerea unui geotub Tencate cu deșeuri produse de o fabrică de hârtie.

Având *rolul de drenare* sunt utilizate geotuburi special concepute, astfel încât excesul de apă să fie dirijat de porii fini ai geosinteticului exterior, ceea ce duce și la micșorarea considerabilă a volumului de material din interiorul tubului, un tub putând fi utilizat la mai multe etape de umplere cu materiale granulare imersate. În funcție de aditivii folosiți odată cu pomparea nămolului în tub, apa

scursă este suficient de filtrată încât poate fi direcționată spre sursa de unde provine.

Strâns legat de acest proces, următorul rol al unui geotub este acela de *apărare de mal, de consolidare*. După mai multe etape de scurgere a apei, materialul rezidual rămas în tub împreună cu acesta, sub greutatea proprie și datorită presiunii de pompare devine un excelent sparge val sau element contra eroziunii.



Fig. 2.33. Exemplu de apărare de mal cu geotuburi

2.2.8. Geomembrane

Geomembranele sunt produse polimerice plane sau profilate, subțiri, sub forma de folii, cu permeabilitate extrem de scăzută, utilizate pentru etanșare (impermeabilizare), în contact cu pământuri sau alte materiale. Asigurarea calității geomembranei începe prin alegerea rășinii sintetice utilizate. Polietilenele de calitate superioară sunt fabricate pentru a răspunde exigentelor extreme impuse geomembranelor. Membranele din polietilenă de înaltă densitate (PEID) au o rezistență chimică excelentă, fiind rezistente la factorii de mediu și la temperaturi înalte, se comercializează cu o gamă variată de grosimi (0,3 mm ÷ 5 mm), densitatea variază între 0,85 și 1,5 g/mm³ și masa între 400 și 2500 g/m², nu prezintă pericol pentru utilizatori, nu sunt toxice, nu poluează, nu prezintă pericol pentru mediu și sănătatea oamenilor.

În prezent pe piață există o gamă largă de tipuri și sortimente de geomembrane cum ar fi: geomembrană din polietilenă de înaltă densitate lisă și rugoasă, geomembrană flexibilă, geomembrană specială, geomembrană cu crampe sau piteni și geomembrană pentru impermeabilizarea tunelurilor.

Geomembranele sunt stabile împotriva radiațiilor UV, sunt rezistente la acțiunea produselor chimice acide, alcaline și a soluțiilor saline, la acțiunea ciupercilor, microorganismelor și la penetrarea rădăcinilor.

Domeniile unde sunt utilizate cu succes sunt:

- impermeabilizări și închideri de depozite ecologice;
- impermeabilizări la gropi de deșeuri industriale și ape uzate din agricultură;

- impermeabilizări la construcții hidrotehnice;
- impermeabilizări la lacuri și piscine ecologice;
- impermeabilizări la fundații pentru construcții civile și industriale;
- hidroizolații la terase și pardoseli hale industriale.

Avantajele utilizării geomembranelor sunt legate de proprietățile lor de impermeabilizare, care sunt superioare celor ale materialelor minerale utilizate în mod tradițional. De asemenea, ele sunt disponibile pe orice amplasament, iar punerea lor în operă este mult mai simplă. Siguranța în execuție este dată de realizarea de teste de verificare pe toate tipurile de suduri (contact termic sau extrudare). Au o productivitate mare la punerea în operă, datorită lățimilor mari ale foliilor de geomembrană, iar durata lungă de viață este un atu important la punerea lor în operă [80].

Geomembrana produsă din polietilenă de înaltă densitate având o calitate superioară poate avea ambele fețe netede sau poate să fie rugoasă pe o față sau pe ambele fețe. Are culoarea neagră și conține aprox. 97,5 % polietilenă, 2,5 % negru de fum, antioxidanți și stabilizatori de căldură. Are o rezistență remarcabilă la radiațiile UV și poate fi instalată în condiții diverse. Geomembrana rugoasă are proprietăți de frecare excepționale care îi permit instalarea pe taluzuri în condiții de siguranță.



Fig. 2.34. Instalarea geomembranei pe taluz

Geomembrana flexibilă este realizată din polietilenă de densitate redusă. Caracteristicile sale de elongație uniaxială și biaxială o fac foarte potrivită pentru orice aplicație în care elongația sau străpungerea sunt critice. Conține aproximativ 97,5 % polietilenă, 2,5 % negru de fum, urme de antioxidanți și stabilizatori de căldură. Are fețele netede sau rugoase. Poate fi folosită și pe pante abrupte unde se cer caracteristici de frecare ridicate. Marginile netede pe o lățime de 15 cm permit o sudura rapidă și ușoară. Este recomandată în locuri cu tasări diferențiate, unde se cere și o frecare mărită între straturi.

Geomembrana specială este lisă și are pe o parte un strat care reflectă lumina, subțire de culoare albă. Acest strat reduce acumularea de căldură. Alte variante pot avea stratul alb electro conductiv și una sau ambele fețe texturate.

Geomembrana cu crampe este proiectată pentru protecția structurilor din beton. Este special realizată pentru preluarea optimă a distribuției forțelor, mai ales la schimbarea temperaturii sau apariției presiunii apei. Este produsă în două culori standard. Cea neagră este folosită în cazul expunerii solare, iar cea gri pentru lucrări care nu au expunere la soare. Această geomembrană se fixează pe cofraj urmând ca

la turnarea betonului pintenii să realizeze o ancorare perfectă în suprafața betonată. O instalare ulterioară este de asemenea posibilă.



Fig. 2.35. Geomembrane cu pintenii (Tefond Tegola)

Există și variante de membrană de polietilenă extrudată de înaltă densitate (HDPE), cu o închidere mecanică laterală prin eclipsare și benzi bituminoase autosigilante. Aceasta este soluția ideală pentru impermeabilizarea pereților și fundațiilor, etanșarea joncțiunilor, împiedicând infiltrarea apei chiar în absența unei membrane bituminoase, dacă nu există ape freactice. În condiții de ploaie abundentă pereții și fundațiile rămân perfect impermeabilizate. Este de asemenea suportul ideal pentru materialele de finisaj (pietriș, gresie, etc.) și strat de separare între acestea, termoizolație și hidroizolație. La realizarea unor platforme din beton, în contact direct cu terenul, geomembrana formează stratul separator și izolant ideal, împiedicând infiltrarea apei și umidității și egalizează presiunea vaporilor. Garantează atât o impermeabilizare continuă pe toată suprafața externă, pe laturi și pe fundul canalului în cazul unei construcții noi, dar și la interior, în cazul refacerii sau sistematizării unor canale vechi.

2.2.9. Funcțiile materialelor geosintetice

În urma prezentării și caracterizării tehnice a diferitelor tipuri de materiale geosintetice, existente în momentul de față pe piața națională și internațională, se pot sintetiza funcțiile principale și secundare ale acestora care sunt evidențiate în tabelul 2.2 precum și exemple de utilizare:

Tabelul 2.2.

Funcțiile materialelor geosintetice

Funcția materialului geosintetic	Acțiunea prin care se realizează funcția	Tipul de material geosintetic	Exemple de utilizare
SEPARARE	împiedică amestecarea diferitelor straturi de material cu granulozități diferite	geotextile, geocompozite	construcții rutiere, hidrotehnice, deponeuri
FILTRARE	reținerea materiilor solide și filtrarea lichidelor	geotextile, geocompozite	construcții hidrotehnice, drenuri
ARMARE	îmbunătățirea proprietăților mecanice ale terenurilor	geotextile, geocompozite, geogriile, geocelule	ziduri de sprijin, stabilizarea terenului, taluzuri
PROTECȚIE	protejarea materialelor sensibile (ex. benzi de hidroizolații, conducte)	geotextile, geocompozite	deponeuri, tuneluri, construcții de instalații/tubulatură
DRENARE	drenarea apei	geocompozite	deponeuri, tuneluri, construcții subterane
ANTIEROZIONAL	reducerea/evitarea eroziunii solului	geotextile, georețele, geocelule, geotuburi	construcții cu elemente în pantă
ETANȘAREA	protecție împotriva fluidelor	geomembrane	deponeuri, construcții hidrotehnice, tuneluri
ÎMPACHETARE	perne din geosintetic umplute cu material granular	geotextile, geocompozite, geogriile, geotuburi	construcții hidrotehnice, îmbunătățirea capacității portante

Din punct de vedere al calității materialelor geosintetice, eficiența îndeplinirii diverselor funcții ale acestora este dependentă de toate caracteristicile lor fizice și mecanice, dar în mod hotărâtor de cele menționate în tabelul 2.3., pentru fiecare funcție [40].

Tabelul 2.3

Caracteristici principale care condiționează eficiența funcțiilor materialelor geosintetice

caracteristici /funcții	rezistența la întindere	rigiditatea	frecarea pământ -geosintetic	porozitate	permitivitate	transmisivitate
FILTRARE				x	x	
DRENARE					x	x
SEPARARE	x				x	
ARMARE	x	x	x			
ETANȘARE	x		x			

2.3. Definirea și determinarea principalelor caracteristici ale materialelor geosintetice

Pentru a putea evalua calitatea geosinteticeilor trebuie efectuate anumite încercări, în laboratoare acreditate internațional. Pentru geotextile și materiale înrudite, încercările de laborator se deosebesc în funcție de cerințele folosirii în construcții a materialelor respective, deci în funcție de rolul ce urmează să îl îndeplinească un anumit geosintetic. Realizarea și procedura metodei de încercare sunt reglementate la rândul lor de norme internaționale. Tabelul 2.4. sintetizează paleta de *caracteristici principale* ce trebuie îndeplinită de geosintetice, respectiv standardele încercărilor pentru determinarea acestor caracteristici.

Tabelul 2.4.

Caracteristicile principale ale geosinteticeilor și standarde de determinare

Caracteristica determinată	Metoda de încercare	Funcția		
		separare	filtrare	armare
grosime	SR EN ISO 9863	x	x	-
rezistența la smulgere	SR EN ISO 10319:2008	x	x	x
deteriorare la instalare	SR EN ISO 10722:2007	x	x	x
comportare la compresiune	SR EN ISO 12236:2007	x	x	x

2.3 – Definirea și determinarea principalelor caracteristici ale materialelor 63

rezistența la forfecare	SR EN ISO 12957-1,- 2	x	x	x
rezistența la smulgere- alungire	SR EN ISO 13431:2004	-	-	x
permeabilitatea normală pe plan	SR EN ISO11058:2010, SR EN ISO 12956:2010	x	x	x
rezistența la intemperii	SR EN 12224:2001	x	x	x
rezistența la agenți chimici	SR EN 12447:2003, SR EN ISO 13438:2005	x	x	x
rezistența la agenți biologici	SR ENV 12225:2000	x	x	x

Cerințele aferente geomembranelor diferă de cele ale geotextilelor ca urmare a funcțiilor complet diferite ale celor două categorii. Astfel, variantele de încercare pe geomembrane diferă față de determinările asupra geosinteticelor permeabile. Importante pentru geomembrane sunt rezistența la forfecare, cu forfecare directă în plan înclinat cât și rezistența la poansonare. La anumite geomembrane este importantă comportarea plastică la expansiuni datorate înghețului sau căldurii excesive. Pentru geocompozite bentonitice valorile esențiale sunt cele legate de rezistența acestora la schimbări de temperatură sau la inundare/uscare.

Încercări frecvente pe materiale geosintetice se realizează în laboratoare de specialitate și la noi în țară. Un exemplu de astfel de laborator fiind Geostud din București, care efectuează încercări pentru:

- Determinarea masei pe unitatea de suprafață;
SR EN ISO 9864:2005
- Determinarea grosimii geotextilelor și produselor înrudite la presiuni stabilite;
SR EN ISO 9863-1:2005
- Determinarea permeabilității la apa normală pe plan, fără încărcare;
SR EN ISO 11058:2002
- Determinarea caracteristicilor de frecare. Încercarea la forfecare directă;
SR EN ISO 12957-1:2005
- Determinarea rezistenței geosinteticelor prin perforarea statică (încercarea CBR);
SR EN ISO 12236:2007
- Determinarea rezistenței la tracțiune a geotextilelor folosind benzi late;
SR ISO 10319:2008
- Determinarea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor, cusăturilor prin metoda benzilor late;
SR EN ISO 10321:2008

- Determinarea rezistenței la tracțiune a geotextilelor folosind tensiometrul EXAMO;
SR EN ISO 527-3:2000

2.3.1. Date necesare identificării geosintetelor

Identificarea geosintetelor derivă din necesitatea de a cunoaște rapid tipul și modul de prezentare, precum și fabricantul produsului, folosind date oferite de acesta.

Aceste date se referă la:

- natura și performanțele materiei prime;
- tipul polimerului și al materialului;
- tipul firului sau al fibrei respectiv tipul textilului;
- produsul în sine, definit prin modul de fabricație, alcătuire;
- tehnologia de realizare;
- elemente dimensionale, greutate, grosime care deși sunt caracteristici fizice, trebuie cunoscute de la început;
- elemente privind modul de livrare și ambalare a produselor (lățimea de fabricație, elementele dimensionale ale roloilor) [42].

2.3.2. Caracteristici fizice

A. Masa unitară

Se notează cu m_s – reprezintă masa unei unități de suprafață de geosintetic și este definită în SR EN ISO 9864:2005 ca fiind:

$$m_s = \frac{M_s}{10^4} \rightarrow (gr / cm^2) \quad (2.1)$$

în care:

M_s – masa suprafeței textile în grame; este corelată cu greutatea specifică a materialului de bază (polimerul).

Noțiunea este valabilă pentru toate tipurile de geosintetice. Masa geosintetelor se măsoară conform STAS 6142/60.

B. Grosimea

Grosimea – t – reprezintă distanța în cm dintre cele două fețe ale materialului geosintetic supus unei presiuni p (2; 20; 200 kPa). Precizia de măsură trebuie să fie de minim 0,02 mm (SR EN ISO 9863-1:2005).

C. Volumul unitar

Volumul unitar (volum suprafeței) $-V_0-$ reprezintă volumul ocupat de 1 cm^2 de geotextil. Noțiunea este valabilă pentru geotextilele neșesute.

D. Finețea filamentelor sau firelor

Finețea filamentelor sau firelor se exprimă convențional prin numărul metric

$N_m =$ număr de metri care cântăresc $1,0 \text{ g}$,

$N_m = L / G$,

unde: L – lungimea filamentului sau firului în m ;

G – greutatea acestuia în grame.

Noțiunea este valabilă pentru geotextile.

E. Desimea geosinteticeilor - noțiunea este valabilă pentru geotextile

Noțiunea este definită în NT C 227-88, fiind diferită în raport cu tipul de geotextil:

- pentru geotextilele țesute desimea d_t reprezintă numărul de fire de urzeală existente pe o lungime de 10 cm de material (STAS 6140/86 Țesături. Determinarea desimii);
- pentru geotextilele neșesute, desimea d_n reprezintă lungimea fibrelor cuprinse într-un volum unitar de geotextil.

F. Porozitatea

Porozitatea, n , se definește ca fiind raportul dintre volumul golurilor unui geotextil și volumul unitar al acestuia, exprimându-se în procente (geotextilele neșesute).

$$n = \left(1 - \frac{m_s}{t_p \cdot \rho_p} \right) \cdot 100 \quad (2.2)$$

unde ρ_p este masa specifică a polimerului din care s-a obținut fibra, în g/cm^3 , iar t_p este grosimea la presiunea de încercare.

G. Indicele porilor

Indicele porilor, e , se definește conform SR EN ISO 12956:2010, prin raportul dintre volumul golurilor unui geotextil și volumul fibrelor. Noțiunea este valabilă pentru geotextile și geocompozite realizate pe bază de geotextile.

H. Gradul de acoperire

Gradul de acoperire, g , este specific geotextilelor țesute și geogrilelor și reprezintă raportul dintre suprafața golurilor (S_n) și suprafața totală a materialului (S_t).

$$g = \frac{S_n}{S_t} \cdot 100 \quad (2.3)$$

2.3.3. Caracteristici mecanice

Aceste caracteristici definesc comportarea intrinsecă a geosinteticeilor la solicitări mecanice precum și comportarea lor la aceeași categorie de solicitări în condițiile unei lucrări cu mediul în care se află încorporate.

Prin structura și tehnologia lor de realizare, geosinteticeile au un caracter anizotrop, fapt ce determină o diferențiere a proprietăților în raport cu direcția solicitării. Uzual, caracteristicile materialelor se stabilesc pe direcția de confecție sau perpendicular pe aceasta.

A. Compresibilitatea

Compresibilitatea exprimă capacitatea geosinteticeilor de a se deforma sub acțiunea unei solicitări mecanice ce acționează normal pe planul geosinteticului și este caracteristică mai ales geotextilelor nețesute și geocompozitelor de drenare.

Comportarea la compresiune se diferențiază în raport cu modul de acțiune al solicitării și anume:

➤ *Solicitări uniform distribuite.* Efortul de compresiune generează deformații pe direcția normală a planului geosinteticului. În acest caz compresibilitatea se exprimă prin tasarea specifică:

$$\varepsilon = \frac{t_0 - t_p}{t_0} \cdot 100, (\%) \quad (2.4)$$

unde t_0 = grosimea inițială;

t_p = grosimea sub sarcină.

Comportarea la solicitări de compresiune uniform distribuite este importantă pentru geotextilele nețesute consolidate prin țesere și coasere, precum și pentru toate geocompozitele care au structura tridimensională sau au în alcătuirea lor geotextile nețesute. Compresibilitatea lor sub încărcare condiționează atât o parte din caracteristicile lor dimensionale (grosimea, porozitatea) și în special capacitatea lor de a transporta lichide în planul lor, deci de drenare.

Pentru celelalte tipuri de geosintetice compresibilitatea sub solicitări uniform distribuite este neglijabilă.

➤ *Solicitările concentrate*, corespund încărcărilor produse de către straturile de acoperire alcătuite din elemente mari (piatră, anrocamente) puse pe geosintetic, care datorită formei neregulate și colțuroase, pot lua contact punctual cu acesta, exercitând sarcini concentrate asupra lui. În raport cu natura suportului pe care este așezat geosinteticul, solicitările pot fi:

- solicitări concentrate exercitate asupra unui material amplasat pe un suport rigid (beton); compresiunea are în acest caz un caracter de strivire;
- solicitări concentrate exercitate asupra unui material amplasat pe un suport elasto-plastic (pământ). Compresiunea are caracterul unei acțiuni complexe de compresiune și întindere asupra geosinteticului, iar intensitatea de manifestare a forțelor dezvoltate în geosintetic, precum și deformațiile generale, sunt în funcție de caracteristicile suportului.

Verificarea comportării geosinteticelor la solicitări concentrate de compresiune se face prin determinarea rezistenței lor la poansonare, printr-o metodă bazată pe principiul metodei CBR (California Bearing Ratio).



Fig. 2.36. Determinarea rezistenței la poansonare

Încercarea reprezintă o penetrare cu con, în condiții quasistatice: penetrare lentă prin împingere, sau în condiții dinamice, prin cădere liberă. Aprecierea comportării geosinteticului (mai exact a geotextilului) se face analizând deformarea produsului, energia necesară degradării lui, dimensiunea găurii produse.

B. Rezistența la întindere

Rezistența la întindere exprimă capacitatea geosinteticului de a se deforma sub acțiunea unor solicitări de întindere ce acționează în planul său. Pe perioada de

încercare se măsoară concomitent încărcările și deformațiile, obținându-se corelația efort-deformație, din care se pot obține următoarele valori:

- încărcarea maximă la rupere;
- alungirea la rupere;
- modulul de elasticitate exprimat prin panta curbei în zona sa inițială.

Geotextilele țesute sunt mai rigide, în timp ce cele nețesute au un caracter mult mai elastic.

Comportarea la întindere se exprimă prin rezistențele și deformațiile aferente solicitării la întindere după cele două direcții de încercare: longitudinal (pe direcția de confecție) și transversal (pe direcția perpendiculară celei de confecție).

Indiferent de direcție, solicitarea de întindere se poate exercita:

- a) *Asupra întregii structuri a materialului textil.* Comportarea geosintetelor la astfel de solicitări se apreciază pe baza rezistenței, determinată prin încercarea de tracțiune conform specificațiilor și aparaturii din NT C 227-88, pe epruvete de 500 mm lățime;
- b) *Localizat.* O astfel de încercare reproduce o întindere cu aplicarea solicitării localizate. Se utilizează epruvete din geosintetice, late de 100 mm, dar care sunt prinse în aparatul de întindere numai pe o zonă de 25 mm, axată pe lățimea eșantionului. Acest test furnizează informații privind comportarea la o solicitare de gen „agățare” a geotextilului.

C. Rezistența la sfâșierea inițială

Sfâșierea exprimă caracteristica geotextilelor care face ca o ruptură inițială să se dezvolte în continuare sub efectul unor forțe de întindere ce acționează continuu și cu o intensitate constantă pe aceeași direcție, însă în sensuri diferite.

Comportarea geotextilelor la sfâșiere se diferențiază în raport cu tipul textil, tehnologia de fabricație și caracteristicile de definiție ale materialelor. De asemenea, ea depinde de modul în care acționează solicitarea: lent sau rapid.

Astfel la geotextilele țesute, sfâșierea se produce prin ruperea succesivă a firelor perpendiculare pe direcția de propagare a sfâșierii.

În cazul geotextilelor nețesute, fenomenul este complex, forțele de întindere ce produc sfâșierea generând două tendințe contradictorii:

- una de desfacere a legăturilor dintre fibre;
- alta de consolidare a acestora.

Ca urmare ruperea fibrelor se face numai după deformarea structurii geotextilului în zona solicitată. În cazul materialelor realizate din fibre tăiate, un aport important în propagarea ruperii îl are și eliberarea fibrelor din legătură.

Principalii factori care influențează rezistența geotextilelor la sfâșiere și lungimea de propagare a rupturii sunt:

- pentru *geotextile nețesute*: intensitatea consolidării, lungimea și rezistența fibrelor constituente, masa geotextilului;
- pentru *geotextile țesute*: caracteristicile de rezistență ale firelor, desimea, gradul de acoperire.

Referitor la modul în care acționează solicitarea, indiferent de alți factori, în principiu propagarea sfâșierii este mai accentuată în cazul solicitărilor rapide.

Aprecierea comportării geotextilelor la sfâșiere se face pe baza parametrilor specifici:

- rezistența la sfâșiere;
- lungimea de sfâșiere, care se determină prin încercarea conform specificărilor din NT C 227-88.

Principiul constă în exercitarea unei solicitări de întindere asupra materialului având o sfâșiere amorsată. Epruvetele sunt de formă trapezoidală iar tracțiunea se exercită pe direcția celor două laturi paralele.

D. Rezistența la impact

Căderea unor corpuri grele și dure pe suprafața geosinteticelor, precum și lovirea lor de către echipamentele utilajelor, pot produce degradarea acestora prin impact. Rezistența geosinteticelor la impact se determină prin încercarea de penetrare dinamică. Principiul încercării constă în supunerea geosinteticului la acțiunea exercitată de căderea liberă a unui con metalic de la diferite înălțimi.

În raport cu modul în care este prevăzută conlucrarea ansamblului geotextil - pământ, încercarea se execută în două variante:

- o *fără suport* – caz în care geotextilul se află în situația unei membrane încastrate pe perimetru, situată deasupra unui gol;
- o *cu suport* – caz în care geotextilul încastrat pe perimetrul sau este așternut pe suprafața unui strat de pământ.

În ambele situații, la impact, geotextilul poate să fie perforat sau să sufere numai o deformare ireversibilă. Prin încercare se determină modul de degradare sau deformare a geotextilului și adâncimea de penetrare.

În raport cu modul în care se apreciază că va fi solicitat geotextilul, conul de încercare, păstrând o greutate constantă, poate avea diferite caracteristici dimensionale (unghiul la vârf și diametrul la bază). Dimensiunea epruvetelor de geotextil se corelează cu cea a conului, astfel încât în toate variantele suprafața geotextilului supusă încercării să fie echivalentă. Se înregistrează modul de deformare a materialului și adâncimea de penetrare a conului.

E. Rezistența la poansonare

În afara încercării precedente, se măsoară și rezistența la poansonare, pentru a caracteriza comportarea geotextilelor la acțiuni cvasistatice, prin presarea pe ele a unor corpuri rigide și colțuroase. Este considerat test de referință și rezultatele obținute sunt prezentate de obicei de fabricanții de geotextile pentru produsele lor. Se utilizează aparatul folosit în geotehnică pentru stabilirea CBR (California Bearing Ratio) cu o sondă cu diametrul de 50 mm. Se măsoară forța în KN la care produsul este penetrat [126]. Pentru a avea ordinul de mărime al rezistențelor, în tabelul 2.5. sunt prezentate câteva valori obținute cu aparatul CBR:

Valori orientative ale rezistențelor la poansonare

Tipul geotextilului	Rezistența la poansonare în kN
- țesut din fire monofilamente din polipropilenă (200g/m ²)	3,55
- țesut cu urzeală din fire de polipropilenă (240g/m ²)	5,06
- țesut din fire monofilamente din policlorură de vinilin (390g/m ²)	1,62
- nețesut din polipropilenă, consolidat prin interțesere (200g/m ²)	1,23
- nețesut din polipropilenă, consolidat prin interțesere (600g/m ²)	3,60

Rezultatele depind de tipul geotextilului, rezistențele fiind mai mari la produsele țesute.



Fig. 2.37. Încercarea de poansonare - simularea efectului împingerii unei pietre prin geotextil, pentru stabilirea clasei de robustețe

F. Rezistența la plesnire

Solicitarea constă în aplicarea unei presiuni uniform distribuite asupra unei suprafețe limitate de geotextil, neancorată pe perimetru. Este situația curentă a solicitărilor care acționează în cazul în care geotextilul este așternut peste goluri.

Determinarea rezistenței la plesnire se face prin încercări care supun geotextilul la presiune hidrostatică. Epruvetele, fixate prin încastrare pe întreg perimetrul lor, sunt circulare sau dreptunghiulare. Ele se montează pe o membrană foarte elastică de cauciuc, prin intermediul căreia se poate aplica presiunea. Încercarea determină presiunea la care se produce plesnirea și deformația materialului în momentul solicitării maxime.

G. Suplețea

Suplețea exprimă capacitatea geotextilelor de a se deforma în planul lor, urmărind forma uneori neregulată a stratului suport. Caracteristica este influențată de:

- proprietățile firelor și fibrelor,
- tehnologia de realizare,
- tipul produsului.

Aceasta se determină prin modul în care un capăt liber al produsului se îndoaie sub acțiunea gravitației.

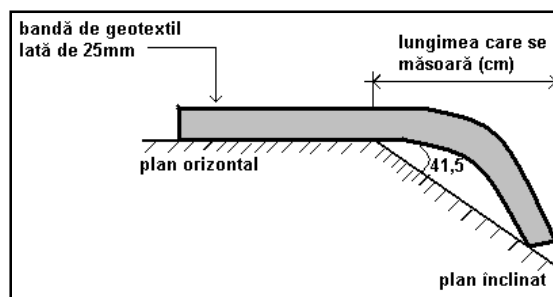


Fig. 2.38. Schița de testare a supleței unui geotextil

Testul este prevăzut în standardul american ASTM D 1883 iar încercarea se realizează astfel: o bandă de geotextil, lată de 25mm este împinsă încet pe un plan orizontal, continuat cu un plan înclinat față de acesta cu un unghi de 41,5°. Capătul geotextilului în consolă se încovoie și atinge la un moment dat planul înclinat. În acest moment se măsoară lungimea porțiunii încovoiate și se consideră că jumătate din ea este lungimea de îndoire. Se multiplică cubul acestei valori, exprimată în cm, cu masa unitară a produsului și se obține valoarea supleței.

În continuare sunt prezentate în tabelul 2.6., câteva valori pentru suplețe [70].

Tabelul 2.6.

Valori orientative ale supleței

Rezistența terenului CBR %	Posibilitatea pământului de a se acoperi cu vegetație	Condițiile impuse în șantier	Valoarea minimă a supleței
$CBR \leq 0,5$	rea	Foarte ridicate ridicate	25.000 15.000
$0,5 \leq CBR < 1,0$	bună	Ridicate moderate	15.000 10.000
$1,0 \leq CBR < 2,0$	rea bună	Moderate scăzute	10.000 15.000
$CBR > 2,0$	rea bună	Niciuna niciuna	1.000 1.000

Această caracteristică exprimă deci capacitatea unui geotextil de a se mula convenabil pe un pământ cu ocazia punerii sale în operă. Pentru un pământ foarte moale, puternic deformabil este de dorit să avem pentru suplețea produsului o valoare cât mai ridicată.

H. Rezistența la forfecare

În foarte multe situații, pentru dimensionarea lucrărilor este necesar să fie cunoscută frecarea dintre geosintetic și straturile adiacente: suport sau de acoperire. În vederea determinării parametrilor de frecare se execută încercări de laborator în baterii de forfecare cu plan obligat, aparate utilizate în mod curent în încercările de forfecare pentru pământuri (Koerner 1990).

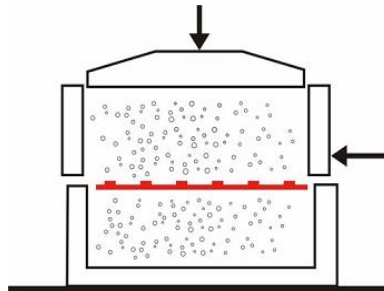


Fig. 2.39. Schița aparatului de forfecare

Parametrii determinați sunt unghiul de frecare pământ - geosintetic, α , și adeziunea pământ - geosintetic, c_a . Mărimea lor este influențată de natura pământului și tipul geosintetului [135]. În cazul pământurilor granulare necoezive este de notat efectul favorabil pe care îl are posibilă amprentare în golurile geogrilelor a unor granule, mărind astfel frecarea geosintetic - pământ. Pentru caracterizarea frecării pământ - geosintetic, se pot defini următorii coeficienți de eficiență, în raport cu cei ai pământului propriu zis:

$$\text{- eficiența la coeziune: } E_c = \frac{c_a}{c} \cdot 100, (\%) \quad (2.5)$$

$$\text{- eficiența unghiului de frecare: } E_\beta = \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \cdot 100, (\%) \quad (2.6)$$

în care:

c_a = coeziunea pământ - geosintetic;

c = coeziunea pământului;

α = unghiul de frecare dintre pământ și geosintetic;

ϕ = unghiul de frecare interioară a pământului.

Asemenea prelucrări [69] au pus în evidență unele valori pentru unghiul de frecare dintre pământ și geosintetic și eficiența E_β exprimată cu relația 2.6, pentru diverse tipuri de nisipuri și geotextile, expuse în tabelul 2.7.:

Tabelul 2.7.

Valori orientative a unghiului de frecare dintre pământ și geotextil

Tipul geotextilului	Nisip pentru beton		Nisip rotunjit		Nisip fin	
	F = 30°		F = 28°		F = 26°	
țesute din fire monofilamente	a = 26	84%	-	-	-	-
țesute cu urzeală din fire tăiate	a = 24	77%	a = 24	84%	a = 23	87%
nețesute consolidate termic	a = 26	84%	-	-	-	-
nețesute consolidate prin interțesere	a = 30	100%	a = 26	92%	a = 25	96%

Astfel rezultă că eficiența frecării dintre un geotextil și pământ poate atinge chiar nivelul unghiului de frecare intrinsec al pământului respectiv. De asemenea, pentru materiale granulare comportarea cea mai bună sub acest aspect o au geotextilele nețesute consolidate prin interțesere.

I. Rezistența la smulgere

Solicitarea la smulgere din terenul în care se află încorporat, este proprie utilizării geosinteticilor ca elemente de ranforsare în diferite tipuri de lucrări și este consecutivă rezistenței la frecare.

Aprecierea modului în care răspunde geosinteticul la o astfel de solicitare se face prin încercarea de smulgere sau încercarea de ancoraj a unei epruvete de geotextil sau geogrilă, plasată între două straturi de pământ. Încercarea se execută la diferite încărcări aplicate asupra pământului și determină forța necesară smulgerii geotextilului sau geogrilei din pământ. De asemenea, se urmărește comportamentul geotextilului sau geogrilei pe parcursul desfășurării încercării.

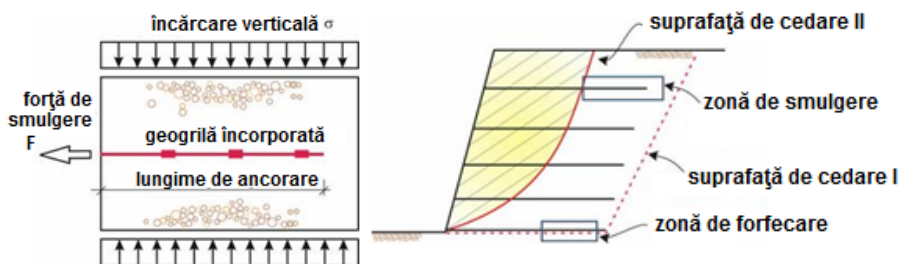


Fig. 2.40. Determinarea rezistenței la smulgere a geosinteticilor, respectiv a geotextilului sau geogrilei

Rezistența la smulgere depinde de frecarea pământ - geotextil sau geogrilă, activă pe ambele fețe ale materialului, și de încărcarea verticală aplicată asupra

pământului. În orice caz rezistența la smulgere este mai mică decât rezistența la frecare, ca urmare a faptului că produsul este întins și suferă deformații mari.

2.3.4. Caracteristici hidraulice ale geotextilelor și ale unor geocompozite

Permeabilitatea reprezintă capacitatea geotextilelor de a permite circulația apei și a aerului prin masa lor, reținând de regulă particulele solide ale pământului cu care vin în contact.

Geotextilele neșesute au această caracteristică atât pentru circulația apei, perpendicular pe planul lor cât și pentru cea în planul lor, pe când cele șesute nu au această calitate decât pentru prima formă de curgere [43].

A. Permeabilitatea transversală sau normală pe planul geotextilului

Când apa curge perpendicular, sau cu o înclinare nu prea mare față de planul geotextilului, fenomenul este denumit **permitivitate** și se stabilește cu relația:

$$\psi = \frac{k_n}{t_p} (\text{sec}^{-1}) \quad (2.7)$$

în care:

k_n = coeficientul de permeabilitate normală pe planul geotextilului (cm/s),

t_p = grosimea geotextilului la încărcarea "p" (cm).

Conform legii lui Darcy:

$$q_n = k_n \cdot i \cdot A = k_n \cdot \frac{\Delta h}{t_p} \cdot A (\text{cm}^3 / \text{sec}) \quad (2.8)$$

în care:

q_n = debitul de apă în curgere transversală (cm³/sec),

$i = \Delta h / t_p$ = gradientul curgerii,

Δh = pierderea de sarcină hidraulică între cele două fețe ale geotextilului (cm²),

A = suprafața de curgere (cm²).

Astfel expresia permitivității devine:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{k_n}{t_p} = \frac{q_n}{\Delta h \cdot A} \\ A &= 1 \text{ cm}^2 \\ \psi &= \frac{k_n}{t_p} = \frac{q_n}{\Delta h} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Determinările efectuate pentru numeroase geotextile dau următoarele ordine de mărimi ale permitivității și coeficientului de permeabilitate:

- permitivitate: (0,3 – 5) sec⁻¹;
- coeficient de permeabilitate k_n : $8 \times 10^4 \dots 2,3 \times 10^{-1}$ cm/sec.

Dependența permeabilității transversale ale geotextilelor neșesute, de încărcare, se află în strânsă corelație cu compresibilitatea materialelor. Astfel pentru geotextilele puternic compresibile, geotextilele neșesute consolidate prin interșesere sau coasere, permeabilitatea materialului scade sensibil cu încărcarea. În cazul geotextilelor neșesute incompresibile, geotextilele consolidate prin termosudare, permeabilitatea transversală, nu se modifică sub încărcare.

B. Permeabilitatea în planul geotextilului sau longitudinală

Permeabilitatea în planul geotextilului se definește atunci când apa străbate geotextilul în planul său și se numește **transmisivitate**. Valoarea transmisivității se stabilește cu relația:

$$\theta = k_p \cdot t_p \text{ (cm}^2/\text{s)} \quad (2.10)$$

în care:

k_p = coeficientul de permeabilitate în planul geotextilului (cm/s),

t_p = grosimea geotextilului la încărcarea "p" (cm).

$$q_p = k_p \cdot i \cdot A = k_p \cdot \frac{\Delta h}{l} \cdot L \cdot t_p \quad (2.11)$$

în care:

q_p = debitul de apă în curgere longitudinală (cm³/s),

$i = \Delta h / l$ = gradientul curgerii,

Δh = pierderea de sarcină hidraulică în lungul curgerii,

l = lungimea de curgere (cm),

$A = L \cdot t_p$ = suprafața de curgere (cm²),

L = lățimea suprafeței de curgere (cm).

Din relația (2.11) rezultă:

$$t_p = \frac{q_p}{k_p \cdot i \cdot L} \quad (2.12)$$

iar prin înlocuire în relația (2.10) se obține:

$$\theta = k_p \cdot t_p = k_p \cdot \frac{q_p}{\Delta h \cdot L} = \frac{q_p}{i \cdot L} \quad (2.13)$$

pentru $L = 1$ cm și $i = 1$ rezultă

$$\theta = k_p \cdot t_p = q_p \quad (2.14)$$

Determinarea permitivității geotextilelor neșesute se face în permeametre speciale pentru permeabilitatea normală (k_n) și permeabilitatea în plan sau longitudinală (k_p), conform metodologiei în rigoare.

Valorile obținute se încadrează în următoarele domenii:

- **transmisivitate:** $(0,1 \dots 1) \times 10^{-6}$ m/sec;
- **coeficient de permeabilitate:** $(0,4 \dots 4) \times 10^{-2}$ cm/sec.

C. Capacitatea de reținere

Capacitatea geotextilelor de a reține debitul solid este proprietatea acestora de a opri selectiv circulația materialului granular, mobilizat într-o mișcare perpendiculară pe direcția geotextilului. Ea definește modul în care geotextilul poate asigura protecție filtrantă a unui pământ sau o barieră de separare între două medii granulare.

În procesul de reținere sunt implicate următoarele categorii de factori:

- *dimensionali*: mărimea și forma porilor geotextilului, grosimea lui precum și mărimea și forma granulelor de pământ;
- *structurali*: structura poroasă a geotextilului la care pentru neșesute se include și finețea fibrelor;
- *chimici*: natura chimică a polimerului din care este realizat geotextilul și natura mineralogică a pământului;
- *funcționali*: intensitatea, caracterul și sensul mișcării (curgere reversibilă, ireversibilă, laminară sau turbulentă), mărimea sarcinii de compresiune aplicate pe geotextil și modul de solicitare (static, dinamic).

Mărimea golurilor care formează porii sau deschiderile geotextilelor uzuale este de la câțiva microni, la câteva sute de microni, aflându-se ca ordin de mărime în domeniul particulelor prăfoase și fin-nisipoase din pământ.

Fenomenologic, procesul de reținere a particulelor granulare se manifestă în două moduri: *reținere mecanică și reținere de natură electrochimică*.

Reținerea mecanică este determinată de efectul restrictiv al mărimii și geometriei porilor corelat cu dimensiunea și forma particulelor solide. În acest fel are loc oprirea particulelor pe suprafața geotextilului și în interiorul acestuia. Atunci când particulele solide sunt reținute în geotextil, prin blocarea porilor se diminuează porozitatea activă a materialului și implicit permeabilitatea lui. Reținerea particulelor se face imediat, evoluția fiind de regulă rapidă.

Reținerea de natură electrochimică este determinată de forțele de legătură ce se dezvoltă între cele două materiale aflate în contact. Prezența acestor forțe și intensitatea lor este legată de natura chimică a polimerului din care este confecționat geotextilul și de cea mineralogică a pământului. Fenomenul este evidențiat de reținerea particulelor fine din domeniul particulelor prăfoase și argiloase având dimensiuni mai mici decât dimensiunea a peste 90% din porii geotextilelor. Fenomenul se desfășoară progresiv putând conduce la obturarea completă a porilor în timp.

În aprecierea capacității geotextilelor de a reține debitul solid există două moduri de abordare și anume:

Primul mod simplifică fenomenul la o problemă de reținere mecanică pentru care trebuie cunoscuți numai parametrii dimensionali ai structurii poroase. Se

acceptă că este suficient să se cunoască mărimea celor mai mari pori ai geotextilului care lasă să treacă prin el un debit solid, mărime numită "diametru de filtrare - O_f ".

Cel de-al doilea mod de apreciere al capacității geotextilelor de a reține debitul solid ține seama de complexitatea fenomenului, fiind considerate ambele aspecte ale fenomenului de reținere: mecanic și electrochimic.

Determinarea capacității de reținere este de tip hidrodinamic și constă din realizarea unui proces de filtrare prin geotextil a unei suspensii de material granular.

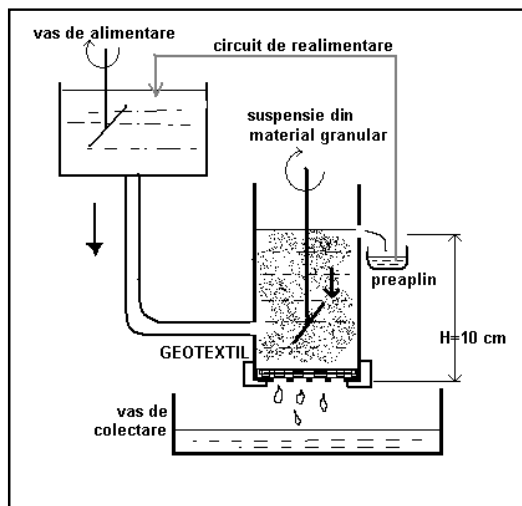


Fig. 2.41. Testarea capacității de retenție

Datele obținute stabilesc cantitatea și granulozitatea materialului trecut prin geotextil (T), rămas pe geotextil (R) și rămas în geotextil (R_i). Din prelucrarea acestora se stabilesc curbele caracteristice ale capacității de reținere care indică, pe fracțiuni granulometrice, cantitativ și procentual, materialul trecut, rămas pe și în geotextil.

În raport cu modul în care se manifestă reținerea debitului solid, sunt evidențiate două situații:

- situația în care reținerea este de natura unei restricții mecanice pe fracțiuni, cantitatea de material ce trece prin geotextil fiind crescătoare cu micșorarea dimensiunii particulelor;
- situația în care pe lângă reținerea mecanică se evidențiază și o reținere a particulelor din domeniul fracțiunilor prăfoase argiloase progresiv cu micșorarea dimensiunii acestora, datorită forțelor de natură electrochimică.

2.3.5. Caracteristici de duranță

A. Alungirea sub sarcină sau fluaj

Fluajul se definește ca proprietatea geosintetelor, ca și a altor materiale de altfel, de a se deforma în timp sub acțiunea unei solicitări constante, de lungă durată, exercitată asupra lor.

Fenomenul de fluaj se manifestă diferențiat în raport cu tipul produsului fiind influențat de numeroși factori și condiții dintre care cei mai importanți sunt:

- caracteristicile polimerului de bază,
- caracteristicile firelor sau fibrelor constituente,
- tehnologia de realizare a produsului,
- nivelul de solicitare,
- condițiile de mediu (temperatura).

Aprecierea comportării geosintetelor la fluaj se face prin determinări care mențin o probă solicitată la întindere, un anumit timp. Esențiale sunt deci alegerea mărimii solicitării și a duratei.

Tensiunea aplicată variază de la 100% putându-se reduce în trepte până la 20% din sarcina de întindere maximă determinată a produsului. Timpul de aplicare trebuie să fie mai mare de 100 ore, mergându-se uneori până la chiar 10.000 ore.

Cele mai sensibile la fluaj, sunt geotextilele din poliamidă și poliester. Ca urmare, după rezultatele obținute din încercări de către Hoedt, sunt propuși următorii coeficienți cu care trebuie corectată încărcarea geotextilelor, astfel încât să se obțină rezultate corecte pentru deformare sub sarcină:

- produse din polipropilenă – P.P. - 0,25;
- produse din poliester – P.E. - 0,50;
- produse din poliamidă – P.A. - 0,40;
- produse din polietilenă – P.E.T. - 0,25.

B. Oboseala geosintetelor

Termenul de oboseală a geosintetelor definește tendința acestora de a-și reduce anumite caracteristici sub acțiunea unor solicitări mecanice repetate. În general noțiunea de oboseală este asociată solicitărilor ciclice și celor dinamice, deși fenomenul de oboseală poate apărea și ca urmare a unor solicitări lente sau care se repetă la intervale neregulate.

Se admite că un geosintetic se poate degrada, chiar până la rupere, sub acțiunea repetată a unei solicitări mecanice a cărei valoare este mai mică decât cea corespunzătoare ruperii provocate de o singură solicitare.

Oboseala se manifestă în strânsă corelare cu periodicitatea și valoarea solicitării, o degradare prin oboseală putând fi provocată fie sub acțiunea unei sarcini mici după un număr mare de cicluri de solicitare, fie sub acțiunea unei sarcini mari ce acționează un număr mic de cicluri.

Elementele determinante în modul de comportare al geosinteticelor la oboseală, în sensul de rezistență a materialelor la acest fenomen, sunt următoarele:

- natura polimerului;
- tipul și caracteristicile materiei de fabricație;
- tehnologia de realizare a produselor.

Metodologia și instalațiile pentru definirea comportării geosinteticelor la oboseală nu sunt standardizate sau stabilite prin norme, ele diferind de la un producător la altul.

C. Colmatarea geotextilelor

Colmatarea reprezintă tendința mișcării până la obturarea porilor unui geotextil prin reținerea de particule solide din pământul cu care este în contact. Ca urmare porozitatea efectivă a geotextilului scade, diminuându-se capacitatea de filtrare și de drenaj a produsului.

Se urmărește deci, să se stabilească tipul și cantitatea de material solid ce poate produce colmatarea structurii geotextilului.

Într-un permeamtru se fixează o mostră de geotextil, peste care se așterne pământul. Se generează apoi o curgere de sus în jos sub un anumit gradient, măsurându-se debitul ce trece prin complexul pământ - geotextil.

După o anumită perioadă, variabilă între 10 ore pentru un pământ granular necoeziv și 200 ore pentru un pământ cu granule fine, prăfos, se constată o scădere a debitului ce se scurge. În continuare pot apărea următoarele situații:

- dacă geotextilul ales este compatibil cu pământul cu care conlucrează, debitul se stabilizează;
- dacă în masa geotextilului se manifestă fenomenul de colmatare, debitul scade;
- dacă se constată o tendință de creștere a debitului înseamnă că pământul este spălat și transportat prin geotextil în afara probei (tipul de efectuare a acestei probe este de minim 1000 ore).

În ultimele două situații se apreciază că geotextilul nu este compatibil cu pământul și trebuie ales un alt produs.

2.3.6. Caracteristici referitoare la degradarea geosinteticelor

Degradarea se apreciază după schimbarea stării produsului făcându-se determinări privind alterarea unor caracteristici. În principiu un geosintetic poate rezista până la temperatura la care polimerul din care este produs nu își modifică proprietățile. Temperaturi mari pot apărea atunci când geosinteticele se utilizează înglobate în texturi bituminoase aplicate la cald, pentru drumuri sau izolații speciale. Polipropilena se topește la 165°C și poliamida la 250°C, deci geosinteticele produse din ultimul polimer sunt compatibile cu temperaturile de punere în operă a îmbrăcăminților bituminoase care sunt de cca. 180°C.

Temperaturile negative sunt critice în special în perioada de punere în operă, dar oricum nu se lucrează în mod normal sub -10°C .

A. Degradarea chimică

Polimerii și produsele din acest material, sunt stabile față de o gamă foarte largă de agenți chimici. Rezistența geosintetelor va trebui analizată și stabilită prin încercări, numai pentru agenți chimici cu care se preconizează că vin sau vor veni în contact. O situație mai delicată apare în cazul depozitelor de deșeurilor, unde pentru apele reziduale din masa deșeurilor nu se pot specifica întotdeauna tipurile de substanțe agresive.

Încercările făcute pe o serie de geosintetice timp de 120 de zile, cu soluții de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ și NaOH , la o temperatură de 20°C au dovedit o comportare deosebit de bună la valori ale pH-ului cuprinse între 2 și 12.

B. Degradarea biologică

Referitor la posibila degradare a geosintetelor datorată factorilor biologici, este de specificat că încercările făcute pentru a produce degradarea deșeurilor din mase plastice, cum ar fi ambalajele și deșeurile industriale, utilizând bacterii și ciuperci, nu au dat rezultatele scontate, datorită masei moleculare mari a polimerilor. Aceasta reprezintă o premiză favorabilă privind rezistența geosintetelor la acțiunea degradantă a factorilor biologici.

Dezvoltarea microorganismelor în porii geosintetelor este de asemenea un aspect care este avut în vedere ca o posibilitate de degradare a materialelor. Încercări efectuate în România în această privință (Ionescu A., Kiss -1982) au analizat comportarea câtorva geosintetice neșesute din polipropilenă, precum și un geotextil din fire fibrilare din polipropilenă, menținute timp de 17 luni în diferite medii solide sau lichide, incubate cu culturi de microorganisme tericole și acvatice, apreciate ca posibili factori biodegradanți sau producătoare de substanțe colmatante. Rezultatele obținute au arătat că dezvoltarea microorganismelor nu au produs modificări esențiale asupra geosintetelor respective. De asemenea, nici caracteristicile de rezistență a materialelor, la întindere nu au fost afectate.

C. Degradarea de către razele solare

Sensibilitatea geosintetelor la o potențială degradare prin expunere la radiațiile solare se află în relație directă cu sensibilitatea polimerilor din care sunt fabricate. Testele făcute prin expunerea îndelungată a produselor la radiații solare au avut ca rezultat reducerea procentuală a rezistenței la întindere și creșterea alungirii, în special pentru produsele realizate din polipropilenă.

D. Îmbătrânirea geosinteticelor

Îmbătrânirea geosinteticelor, adică modificarea caracteristicilor în timp, independent de solicitarea aplicată, are ca și cauze uzuale următoarele:

- solicitări mecanice accidentale la punerea în operă și exploatarea ce provoacă rupturi, striviri, perforări, sfâșieri;
- solicitări de întindere excesive care provoacă deformarea materialelor;
- ruperi și perforări provocate de vegetație și rozătoare;
- dimensionarea necorespunzătoare a lucrărilor, care expune geosinteticul la solicitări ce îi depășesc rezistența (solicitări mecanice) sau periclitează funcționalitatea lor (colmatarea);
- depozitarea materialelor în condiții neadecvate.

Degradările posibile din cauzele enumerate mai sus pot fi aproape în totalitate evitate prin alegerea corectă a geosinteticului și prin respectarea strictă a prescripțiilor de depozitare și punere în operă.

În continuare se prezintă rezultatele obținute prin dezvelirea după anumite intervale de timp a unor geotextile puse în operă și verificarea caracteristicilor lor. O vastă campanie de verificări a fost organizată în Olanda (1992) de către Comitetul Tehnic pentru Inginerie Costieră și Canale [8], urmărindu-se comportarea geotextilelor țesute utilizate la apărările de mal pe râuri și canale navigabile. Au fost alese 32 de amplasamente, utilizându-se drept criteriu fundamental cunoașterea caracteristicilor inițiale ale geotextilelor utilizate.

S-au luat în considerare, pentru a fi analizate, următoarele elemente:

- tipul de polimer din care a fost fabricat geotextilul;
- caracteristicile pământului pe care a fost aplicat;
- locul de amplasare: sub, peste sau la nivelul apei;
- calitatea apei: dulce, sărată, curată sau poluată;
- caracteristicile curentului apei: calm sau agitat;
- direcția curentului, perpendicular sau paralel cu lucrarea de apărare;
- timpul de instalare (minim 7 ani).

Încercările s-au efectuat asupra:

- caracteristicilor firului și fibrei geotextilului;
- caracteristicilor hidraulice ale geotextilului;
- caracteristicilor pământului suport;
- cercetări cu caracter chimic privind geotextilul și pământul.

În sinteză, rezultatele obținute demonstrează următoarele:

- după o perioadă de 10-15 ani de exploatare în cele mai diferite condiții, modificările caracteristicilor fizice ale geotextilelor țesute sunt minime;
- caracteristicile tehnice, fizice, mecanice și chimice ale geotextilelor nu sunt influențate de faptul că s-au găsit sub, sau aproape de nivelul apei;
- reducerea permeabilității ca rezultat al colmatării, nu este alarmantă;
- modificări în structura stratului de pământ de sub geotextil au loc pe o adâncime de ordinul a 5 mm;

- coeficientul de reducere al rezistenței inițiale la întindere constatată pentru diverse fibre este:

- la polipropilenă: 0,6 - 0,9;
- la poliamidă: 0,5 - 0,7;
- la polietilenă: 0,7 - 0,9.

Luând în considerare o eventuală contaminare a pământului cu fier, durata de viață a fibrelor din polipropilenă în condiții termo-oxidative este de 15-30 ani, polietilena are o speranță de viață de cel puțin 20 de ori mai mare în aceleași condiții, iar pentru poliamidă nu se prevede nici un efect de degradare.

2.3.7. Valori ale caracteristicilor unor geotextile uzuale

În tabelul 2.8. se dau intervale de variație a valorilor caracteristicilor unor geotextile uzuale sau geocompozite alcătuite din geotextile.

Tabelul 2.8.

Valori ale caracteristicilor ale geotextilelor

Caracteristici fizice	
Denumirea caracteristicii	Valoarea
- masa unitară per suprafață	100 ... 700 gr/m ²
- grosimea	0,25 ... 7,5 mm
- porozitatea la neșesute	50% ... 95%
- procent de goluri la țesute	1% ... 35%
- mărirea aparentă a porilor	10 ... 300 mm
Caracteristici mecanice	
Denumirea caracteristicii	Valoarea
- rezistența la întindere	10 ... 180 KN/m
- rezistența la sfâșierea inițială	90 ... 1300 N
- rezistența la impact	15 ... 200 Joule
- suplețea	până la 25000 m.gr.m
- rezistența la frecare	50% ... 100% din cea a pământului natural
- rezistența la smulgere	50% ... 100% din cea la întindere
- rezistența cusăturii	50% ... 100% din cea la întindere
- rezistența ancorată	18 ... 180 KN/m
Caracteristici hidraulice	
Denumirea caracteristicii	Valoarea
- permeabilitatea normală Kn	(5 ... 25)×10 ⁻² cm/sec
- permeabilitatea transversală Kp	(1 ... 5)×10 ⁻¹ cm/sec
- permitivitatea	(1 ... 10) ⁻⁵ cm/sec
- transmisivitatea	(1×10 ⁻⁵ ... 1×10 ⁻⁶) m ² /sec
Caracteristici de duranță	

Denumirea caracteristicii	Valoarea
- alungirea sub sarcină, fluajul	Nu sunt probleme dacă se aplică o sarcină mai mică de 40% din rezistența la întindere
- abraziunea	50% ... 100% din rezistența la întindere
Caracteristici referitoare la degradare	
Denumirea caracteristicii	Valoarea
- degradarea la instalare	0 ... 70 % din rezistența la întindere
- degradarea chimică	nu sunt probleme în domeniile 2 < pH <10
- degradarea de razele solare	Scăderi importante ale caracteristicilor după expunere directă mai lungă de 2 săptămâni la radiații solare și în special la componenta de ultraviolete.

2.3.8. Caracteristici tehnice principale ale unor geocompozite și geogridurile utilizate în România la armarea îmbrăcăminților asfaltice

În capitolul 1 și pe parcursul acestui capitol, au fost evidențiate și analizate, fără a intra în detaliu, unele aspecte și avantaje tehnice ale armării îmbrăcăminților asfaltice cu geosintetice, în special cu geocompozite și geogridurile.

Atât în literatura de specialitate [63], [76], [92], cât și dintr-un studiu propriu [145], efectuat în anul 2011 în calitate de colaborator al firmei TENCATE GEOSYNTHETICS ROMÂNIA, rezultă că în sectorul rutier alături de armarea terasamentelor și a altor structuri de sprijin cu geosintetice, aceste materiale se folosesc pe scară largă și pentru armarea îmbrăcăminților asfaltice.

În completarea aspectelor menționate în această direcție, în tabelul 2.9. se prezintă firmele producătoare, tipurile și principalele caracteristici tehnice ale unor geocompozite, folosite în România la armarea îmbrăcăminților asfaltice, pe baza datelor prelucrate și sintetizate în studiul efectuat.

Caracteristici tehnice ale unor geocompozite și geogriile utilizate în România la armarea îmbrăcăminților asfaltice Tabelul 2.9.

Producător	Produs	Tip produs	Caracteristici tehnice							Lățime [m]
			Rezistența la întindere [kN/m]	Alungire la rupere [%]	Retenția de bitum [kN/m]	Masa / unitate de arie [gr/m ²]	Punct de topire [°]	Dimensiuni ochiuri [mm]	Lungime [m]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tencate Geosynthetics	PGM G 50/50	Geocompozit - geotextil PP + fibre de sticlă	50/50	3	1,1	370	-	23x23	100	0,95 / 1,90
	PGM G100/100		100/100	3	1,1	570	-	11x11	100	0,95 / 1,90
	PGM G150/150		150/150	3	1,1	750	-	16x16	70	0,95 / 1,90
	PGM G30/30E		30/30	3	0,6	260		40x40	150	0,95 / 1,90
	PGM G50/50E		60/60	3	0,6	310		20x20	150	0,95 / 1,90
	PGM G100/100E		100/100	3	0,6	530		11x11	100	0,95 / 1,90
Huesker Synthetic Gmbh Germany	Hatelit C 40/17	Geocompozit din geotextil + geogriă PET*	50/50	10	-	270	255°	40x40	150	1,0 / 4,0 / 5,0
	Hatelit XP 30	Geocompozit din geotextil PP + geogriă PVA*	30/30	6	-	160	stabil. termică 190°	40x40	150	1,0 / 4,0 / 5,0

2.3 – Definirea și determinarea principalelor caracteristici ale materialelor 85

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TeMa Technologies and Materials, Italia	X GRID FG 50/50A	Geogriă din filamente sintetice din fibra de sticlă (FG) imbrăcate în strat protector	55/55	2,5	-	-	-	25x25	100	4,00
	X GRID FG 100/100A		110/110	2,5	-	-	-	12,5x12,5	100	4,00
	X GRID FG 50/50L		50/50	4	-	-	850	25,4x25,4	100	4,00
	X GRID FG 100/100L		100/100	4	-	-	850	25,4x25,4	100	4,00
Rehau Germany	Armopal G5/5	Geocompozit din fibre de sticlă	50/50	2	materialul se acoperă cu 0,6kg/m ² emulsie bituminoasă U60K (DIN 1955)	260	840	30x30	100	0,90 / 1,12 / 1,80 / 2,25 / 3,60 / 4,50
	Armopal GL5/5		50/50	2		330	840	5x20	100	
	Armopal GL5/5		100/100	2		500	840	5x20	100	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kordana, Cehia	ARMATEX RSR 30-30	Geocompozit - geotextil 30g/m ² + fibre PET*	35/35 toleranță -5	9±4,5	-	-	220	40x40	100/150	5,0 / 5,2
	ARMATEX RSR 50-50		55/55 toleranță -5	9±4,5	-	-	220	40x40	100	5,00
	ARMATEX RSR 60-60		70/70 toleranță -10	9±4,5	-	-	220	40x40	100	5,00
	ARMATEX RSR 80-80		90/90 toleranță -10	9±4,5	-	-	220	40x40	100	5,00
	ARMATEX RSR 100-100		110/110 toleranță -10	9±4,5	-	-	220	40x40	100	5,00
MDB Texinov, Franța	Texinov TIG 30	Geocompozit - geotextil PP*+geogrila din fibră de sticlă tip E	30/30	4	-	258	-	25x25	50	2,0 / 5,3
	Texinov TIG 50		50/50	4	-	320	-	25x25	50	1,75 / 4,0
	Texinov TIG 100		100/100	4	-	458	-	25x25	50	1,75 / 4,0
TENAX, Italia	Tenax GT 220	Geocompozit	20/20	11	-	410	-	41x31	50	3,80
	Tenax GT 330		30/30	11	-	560	-	40x27	50	3,80

2.3 – Definirea și determinarea principalelor caracteristici ale materialelor 87

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BECO Bermuller & Co. GmbH, Germany	Bebit G50	Geogrila din fibre de sticlă cu invelis bituminos	60/60	3	-	205	850...900	30x30	100	1,10 / 2,20 / 4,40
	Bebit G100		115/115	3	-	400	850...900	20x20	100	1,10 / 2,20 / 4,40
	Bebit G50 Plus	Geocompozit - geotextil geotextil + bitumat + geogrila din fibre de sticlă	60/60	3	-	255	850...900	30x30	100	1,10 / 2,20 / 4,40
	Bebit G100 Plus		110/110	3	-	500	850...900	30x30	100	1,10 / 2,20 / 4,40
TENSAR International U.K.	Tensar Glasstex P50	Geocompozit - geotextil PP* + fibre de sticlă	50/50	3	1,1	320	-	40x40	100	1,0 / 1,5 / 2,0 / 3,0
	Tensar Glasstex P100		100/100	-	-	430	-	40x40	100	1,5 / 3,0
	Tensar Glasstex P200		200/200	-	-	670	-	40x40	100	1,5 / 3,0
S.C. ROMFELD Manufacturing Romania	B2B Bistex 50/50 și Armasphalt	Geocompozit - geotextil PET* + fibre de sticlă	50/50	2	1,1	390	190	4x5	50	1,0 / 2,0

*PVA - polivinilalcool, PP- polipropilena, PET - poliester

3. ASPECTE TEORETICE ȘI PRACTICE PRIVIND FOLOSIREA EFICIENTĂ A MATERIALELOR GEOSINTETICE LA LUCRĂRI DE INGINERIE GEOTEHNICĂ

3.1. Folosirea materialelor geosintetice la terasamente de drumuri și căi ferate

3.1.1. Principii generale de proiectare și execuție a terasamentelor de drumuri și căi ferate

Terasamentele rutiere și de căi ferate cuprind lucrările de construcții constând din săpături și umpluturi de pământ/agregate naturale prin care se modifică suprafața terenului natural, pentru a permite executarea suprastructurii drumului sau a căii ferate, cu respectarea elementelor geometrice proiectate.

Terenul pe care se execută terasamentele este considerat teren de fundare, iar pământul și agregatele naturale folosite sunt denumite materiale pentru terasamente. Calitatea unui terasament este definită de stabilitatea și rezistența în timp, sub acțiunea factorilor climatici și a traficului rutier sau feroviar. Pentru cunoașterea comportării pământurilor din terasamentele rutiere sau feroviare trebuie parcurse anumite etape și anume:

1. Identificarea geotehnică, care permite corelarea comportării previzibile a pământului studiat cu comportarea, general cunoscută, a unei categorii de pământuri. Această etapă se bazează pe clasificarea pământurilor în funcție de anumite criterii;
2. Studiul caracteristicilor de stare și natură, pentru fiecare categorie de pământuri, și raportarea lor la valori de referință;
3. Evaluarea capacității portante, prin încercări convenționale.

Materialele utilizate pentru întregul ansamblu al unui terasament de drumuri și căi ferate și pașii de proiectare se rezumă la:

1. Pământ vegetal - Pentru acoperirea suprafețelor ce urmează a fi însămânțate sau plantate se folosește pământ vegetal.
2. Pământurile pentru terasament - Categoriile și tipurile de pământuri clasificate conform STAS 1243-88, care se folosesc la executarea terasamentelor vor corespunde cu prevederile STAS 2914-84 și în funcție de care se vor alege și materiale geosintetice ce vor intra în componența

masivului de pământ, cu rolul de armare, separare, filtrare. Nu se folosesc în rambleuri pământurile de consistență scăzută ca: mълuri, nълmолuri, pământuri turboase, precum și cele cu conținut de săruri solubile în apă, mai mare de 5%. De asemenea, nu se folosesc bulgări de pământ sau pământ amestecat cu substanțe putrescibile (brazde, crengi, rădăcini).

3. Apa de compactare - Apa necesară compactării rambleurilor nu trebuie să fie murdară și nu trebuie să conțină materii organice în suspensie.

4. Pământuri pentru straturi de protecție - Pământurile care se vor folosi la realizarea straturilor de protecție a rambleurilor erodabile trebuie să aibă calitățile pământurilor care se admit la realizarea rambleurilor, excluse fiind nisipurile și pietrișurile aluvionare.

5. Verificarea calității pământurilor - Verificarea calității pământurilor constă în determinarea principalelor caracteristici ale acestuia.

6. Geosintetice cu rol de separare, drenare, filtrare și armare.

Înainte de începerea lucrărilor de terasamente se vor executa toate lucrările pregătitoare prevăzute în proiect. Mișcarea pământului se efectuează prin utilizarea pământului provenit din săpătura în profiluri cu umplutură a proiectului. Excedentul de săpătură, ca și pământurile din debleuri, care sunt improprie realizării umpluturilor, vor fi transportate în depozite definitive. Necesarul de pământ care nu poate fi acoperit din debleuri provine din gropi de împrumut [138].

Procesul de execuție a lucrărilor de terasamente se compune din următoarele operațiuni de bază:

- săparea pământului;
- încărcarea pământului în mijlocul de transport, transportul și descărcarea din mijlocul de transport;
- împrăștierea pământului în umplutură și nivelarea;
- compactarea pământului;
- finisarea terasamentelor.

Grosimea straturilor în rambleuri se alege în funcție de mijlocul de compactare, astfel încât să se asigure gradul de compactare prescris pe toată grosimea lui. Pământurile se vor pune în operă pe cât posibil la umiditatea optimă de compactare. În cazul debleurilor, lucrările de terasamente se vor executa în prima fază până la nivelul acostamentelor cu asigurarea evacuării apelor meteorice de pe platforma creată [129].

Gradul de compactare se exprimă în procente, prin raportul dintre densitatea aparentă în stare uscată a materialului din terasamente și densitatea aparentă în stare uscată a materialului, obținută în laborator prin metoda Proctor normal - conform STAS 1913/13-83.

Terasamentele din corpul drumului vor fi compactate, asigurându-se gradul de compactare prevăzut în proiect. Alegerea utilajelor de compactare, grosimea stratului și numărul de treceri necesare pentru atingerea gradului de compactare, se stabilesc la execuție în funcție de natura materialului din terasamente, pe baza de încercări, ținând seama și de prevederile STAS 7582-91.

La execuția lucrărilor de terasamente se verifică:

- corecta trasare a axului și amprizei căii;
- concordanța dintre calitatea pământurilor folosite și cele indicate în documentație;
- respectarea grosimii straturilor așternute în rambieu, față de cele stabilite în funcție de utilajul folosit la compactare;
- umiditatea efectivă la care se compactează pământul și variația acesteia față de umiditatea optimă de compactare;
- gradul de compactare realizat;
- profilul longitudinal și transversal realizat față de prevederile proiectului

[58].

Toate acestea reprezintă cerințele minime dar necesare în pașii de execuție a unui terasament în sistemul clasic, la care se adaugă cerințele de instalare a geosinteticeilor și caracteristicile speciale ale acestora.

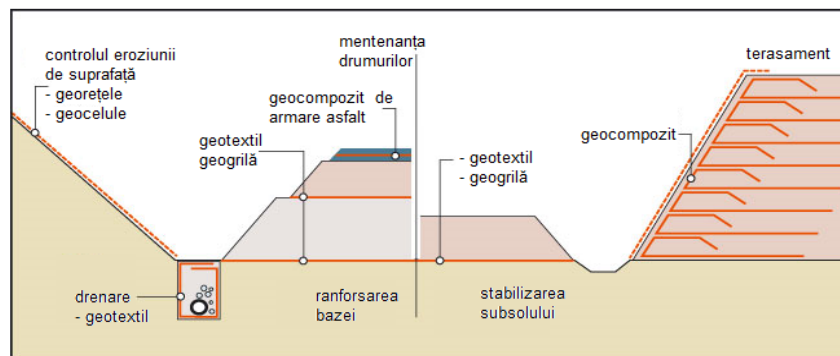


Fig. 3.1. Terasamente rutiere și lucrări aferente acestora

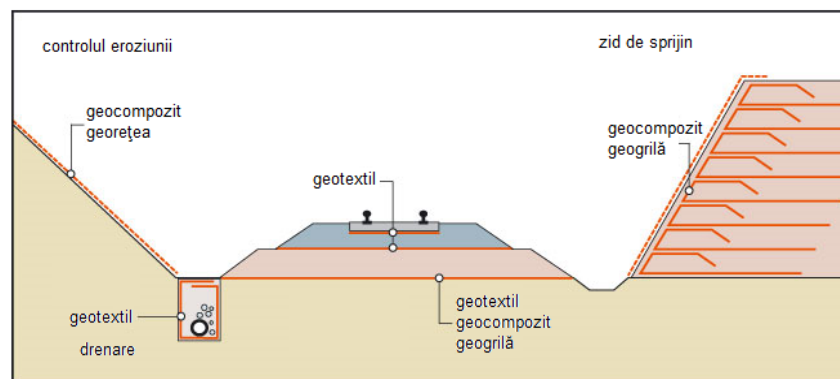


Fig. 3.2. Terasamente de căi ferate și lucrări aferente acestora

Infrastructura unui drum sau a unei căi ferate reprezintă partea din construcția drumului sau a căii ferate alcătuită din *terasamente* inclusiv *lucrările de*

consolidare și protejare a lor, poduri și tuneluri. În continuare se face referință doar asupra terasamentelor și sistemelor de drenuri ce fac parte din lucrările de consolidare și protejate a terasamentelor. La aceste lucrări se folosește o gamă largă de materiale geosintetice, acoperind aproape toate funcțiile exercitate de acestea.

Elaborarea proiectelor de terasamente se face în baza studiului geologico - tehnic și geotehnic care trebuie să cuprindă următoarele date principale:

- stratificația terenului;
- caracteristicile geotehnice (fizice și mecanice) ale pământurilor care intră în alcătuirea terasamentului și a terenului de bază, informație importantă pentru alegerea corectă a geosinteticului implicat în lucrare;
- caracteristicile de compactare ale pământurilor pentru a putea fi corelate cu materialele geosintetice cu care intră în contact;
- existența apelor de suprafață în zona terasamentului; variația, caracteristicile de curgere și nivelul maxim al acestora, în scopul proiectării unor lucrări de protecție sau consolidare adecvate folosind materiale geocompozite cu funcții speciale;
- prezența apelor subterane în zona terasamentelor; conținutul chimic, agresivitatea asupra betoanelor, mortarelor și geosinteticelor, variațiile de nivel, direcția, viteza și debitul de curgere ale acestora în scopul proiectării unor lucrări de protecție, asanare sau consolidare.

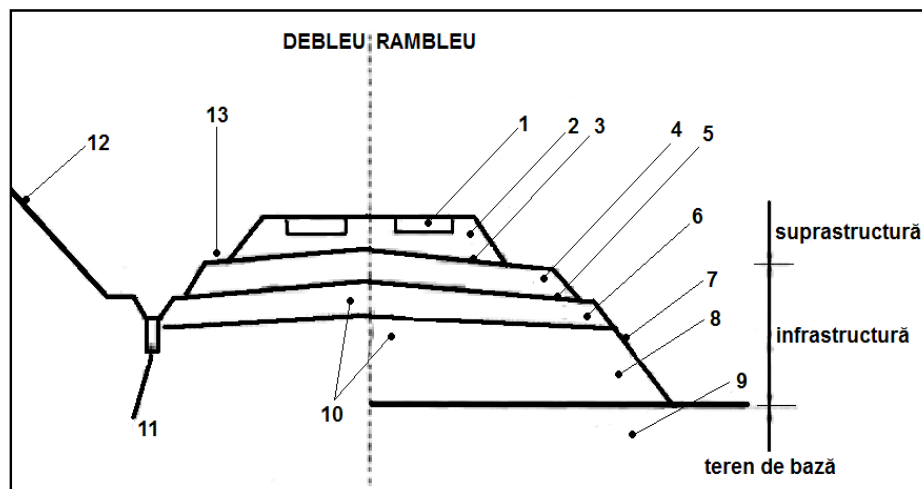


Fig. 3.3. Elementele unui terasament de cale ferată:

- 1- traverse; 2 - prisma căii; 3 - platforma căii; 4 - substratul căii; 5 - fața superioară a terasamentului; 6 - stratul de repartiție; 7 - taluzul rambleului; 8 - corpul rambleului; 9 - terenul de bază; 10 - zona platformei căii; 11 - sisteme pentru colectarea și evacuarea apelor de suprafață și subterane; 12 - taluzul debleului; 13 - bancheta căii.

Forma și dimensiunile terasamentelor sunt conform profilurilor transversale tip, în care zonele unde de regulă se folosesc geosintetice, sunt:

- zona platformei care cuprinde stratul de repartitie sau de formă și partea superioară a terasamentului pe 50 cm sub fața superioară a terasamentului;
- corpul terasamentului care cuprinde volumul de pământ între zona platformei și terenul de bază;
- terenul de bază al terasamentului, adică stratul de pământ pe care reazemă rambleul sau în care se execută debleul.

În fiecare din aceste zone intervin îmbunătățirile aduse de introducerea geosinteticilor care pot avea rol de separare de straturi, drenare, filtrare și mai ales de armare. Sunt utilizate geocompozite realizate din geotextile legate mecanic, armate la rândul lor cu fibre de polietilenă de înaltă rezistență, special fabricate, având o excelentă permeabilitate și o bună rezistență la întindere, fiind folosite pentru armarea stratului portant în construcții rutiere sau construcții de căi ferate. Alte variante de geocompozit sunt realizate din țesături din benzi de polipropilenă, cu înaltă rezistență la întindere, fixate mecanic de geotextil din polipropilenă, ce îmbină cu succes proprietatea de armare cu funcția de separare și filtrare [60].

3.1.2. Funcțiile geosinteticilor folosite la terasamente de drumuri și căi ferate

Principalele funcțiuni ale geosinteticilor folosite la lucrări de drumuri și căi ferate sunt:

- separarea, adică prevenirea migrării particulelor fine argiloase și prăfoase ale terenului natural din patul drumului în terasament. În această situație geotextilul trebuie să fie suficient de rezistent ca să nu apară degradări în timpul instalării, realizării construcției și după terminarea acesteia, să dețină grosime corespunzătoare și porozitatea corectă pentru a împiedica migrarea particulelor fine de pământ sub încărcări dinamice și statice, iar pentru performanțe pe termen lung, să reziste la îmbătrânire și să aibă rezistențe chimice ridicate;
- filtrarea, care previne migrarea particulelor fine argiloase și prăfoase din corpul terasamentului în terenul de fundare. Materialele utilizate în aceste situații trebuie să prevină spălarea particulelor fine prin îndeplinirea criteriilor de filtru pentru o anumită dimensiune a porilor, să ofere trecerea unui debit de apă, prin eliberarea presiunii apei, îndeplinind criteriile de filtru pentru permeabilitatea cerută și prevenind colmatarea filtrului geotextil datorită unei rezistențe bune la îmbătrânire și la elementele chimice din pământ;
- ranforsarea, care determină schimbarea stării de solicitare din terasament și preluarea de către geosintetic a solicitărilor de întindere la care este supus. Materialul geosintetic trebuie să fie apt să preia eforturi prin descărcarea lor în sistemul multistrat, format din geosintetic și straturile pe care le armează, să crească stabilitatea prin modificarea condițiilor hidraulice, să asigure îmbunătățirea

stabilității prin consolidare accelerată dezvoltând deformații mici sub sarcina constantă pe termen lung și o bună rezistență la îmbătrânire și la elementele chimice din teren [128].

Ranforsarea în aceste situații este de două feluri:

- *ranforsarea cu reținerea mișcării laterale a agregatelor naturale din terasament* care, datorită stratului de separație dat de geotextil, au o comportare mai rigidă și transmit încărcările eficient, pe o suprafață mai mare. Retenția laterală este rezultatul interacțiunii dintre agregate și geosintetic. Acest tip de ranforsare este caracteristic lucrărilor cu teren de bază rezistent;

- *ranforsarea terasamentelor cu strat de fundare slab*, când în timpul exploatării geosinteticul este supus mult mai mult la întindere, interacțiunea dintre patul deformabil și geosintetic fiind mai însemnată și cu atât mai eficientă cu cât geosinteticul are un modul de elasticitate mai mare. Din acest punct de vedere sunt fabricate geosintetice mai abrazive, cu caracteristici speciale mai ales pentru taluzurile terasamentelor căilor ferate.

Introducerea unui geosintetic cu rol de separare în lucrări de construcții rutiere și în lucrări ce prevăd în general utilizarea umpluturilor de pământ este un concept foarte răspândit, având totodată și cel mai vechi rol pe care geosinteticele îl îndeplinesc.

Scopul utilizării geosinteticului este în acest caz separarea straturilor cu granulozitate diferită și proprietăți diferite. În general se întâlnește situația în care un pământ ce are consistență redusă și o compoziție fină trebuie separat de un strat de pământ grosier.

Se urmărește în general:

- evitarea amestecării materialelor din straturi diferite;
- evitarea pierderii de material din cauza întrepătrunderii materialului fin în cel grosier;
- mărirea capacității de compactare și a calității primului strat;
- evitarea migrării particulelor fine în materialul grosier, prin încărcări dinamice (ex. trafic);
- asigurarea în timp a rezistenței la îngheț a fundației [130].

Geosinteticul cu rol de armare se folosește acolo unde se dorește ca o masă de pământ să dezvolte rezistențe la întindere. Nearmat, un taluz poate ceda prin apariția unor plane de alunecare ce pot fi neutralizate tocmai prin introducerea benzilor de material geosintetic. Se utilizează geotextile, dacă materialul de umplură este un pământ coeziv și geogriile atunci când umplutura se realizează din pământ slab coeziv sau chiar necoeziv.

Solicitările din timpul punerii în operă, prin întinderea materialului, realizarea umpluturii, compactarea și rularea mașinilor de mare tonaj sunt hotărâtoare pentru păstrarea proprietăților mecanice ale materialului geosintetic utilizat. Dacă materialul geosintetic trece de aceste etape fără a fi avariat atunci va putea pe toată durata de utilizare a construcției respective să își îndeplinească rolul pentru care a fost folosit (evitarea amestecării straturilor învecinate, oprirea migrării

particulelor fine și menținerea rezistenței la îngheț, armarea). Pentru aceasta sunt răspunzătoare proprietățile hidraulice specificate de către fabricant.

Folosirea geotextilelor cu modul de elasticitate mare și rezistență optimă, conduc la economii și îmbunătățiri importante în construcțiile rutiere și de căi ferate. Folosirea geotextilelor cu rol de separare între terenul de bază și corpul terasamentului, realizat din diverse agregate naturale, previne contaminarea acestuia cu pământ și contribuie la sporirea capacității portante a terenului de fundare.

În mod special la construcția de căi ferate, ca straturi de separație, geotextilele se regăsesc în următoarele situații:

- acolo unde terasamentul este slab, saturat cu apă, cu capacitate portantă redusă;
- când capacitatea de filtrare și drenare între stratul de piatră spartă și infrastructură nu este garantată.

Prin utilizarea în majoritatea cazurilor a geotextilelor neșesute la ranforsarea terasamentelor, crește stabilitatea acestora prin modificarea condițiilor hidraulice limită și se îmbunătățește stabilitatea prin consolidare accelerată. Foarte importantă este conlucrarea dintre pământ și geosintetic, deoarece forțele se transmit prin intermediul frecării. În cazul pământurilor coezive se recomandă geocompozitele deoarece acestea asigură și separare, filtrare și drenaj. Geogriurile sunt utilizate împreună cu pământuri necoezive acolo unde este necesară doar o armare eficientă prin încăleștarea umpluturii în grilajul materialului geosintetic.

În cazul terasamentelor la execuția cărora se folosesc geosintetice, la alegerea materialului de umplutură trebuie avută în vedere clasificarea acestora în următoarele categorii:

- **Categoria CI** - (pământuri improprii pentru execuția terasamentelor) din care fac parte pământurile argiloase, argile grase, pământuri tixotropice, fragmente de rocă de dimensiuni mari, pământuri granulare având coeficient de neuniformitate mai mic de 5, pământuri cu coeficient de carbonat de calciu sau sare mai mare de 5%, pământuri greu compactabile (σ_{dmax} determinată prin încercarea Proctor normală, mai mică de 15 kN/m³);

- **Categoria CII** - (roci și pământuri rele care pot fi utilizate în corpul terasamentelor numai în condițiile unui drenaj corespunzător și după efectuarea unor tratamente stabilite pe bază de încercări) din care fac parte roci evolutive de genul cretă, marne, șisturi alterate, roci compacte semi-stâncoase având rezistența la compresiune axială în stare saturată mai mică de 5000kPa;

- **Categoria CIII** - (pământuri mijlocii, utilizabile în corpul terasamentului în zona platformei după efectuarea unor tratamente pe bază de încercări). Aici se regăsesc pământuri conținând între 15...50% particule de diametru mai mic de 0,005 mm și având limita superioară de plasticitate $W_L < 50$, nisipuri cu particule de diametru

sub 0,05 mm în procent de sub 5%, deșeuri industriale care pot fi utilizate numai în materiale de derocări, etc.;

- **Categoria CIV** - (roci și pământuri bune, acceptabile atât în corpul terasamentului cât și în zona platformei) unde fac parte pietrișuri și nisipuri având particule cu diametrul sub 0,05 mm în procent de peste 5%, rocile compacte stâncoase având rezistența la compresiune axială în stare saturată peste 5000 kPa, pământuri care satisfac condițiile privind indicele de grupă (I_g), gradul de compactare (I_D) și greutatea volumică a pământului uscat (ρ_d).

În funcție de categoria pământului utilizat la realizarea straturilor din terasamentul unui drum sau a unei căi ferate se recomandă diverse geotextile (pentru separare sau filtrare), geocompozite (pentru drenare sau armare) sau geogridurile (pentru armare) [132].

Proprietățile necesare ale geotextilelor se definesc prin clasa lor de robustețe, redată în tabelul 3.1, dată de „Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen” [130], în care rezistențele materialului sunt date de încercarea la poansonare. Pentru fiecare clasă în parte se cere o anumită greutate minimă a geotextilului.

Tabel 3.1.

Clasele de robustețe a geotextilelor folosite la realizarea terasamentelor rutiere și feroviare

Clasa de robustețe (GRK)	Forța de poansonare ($x^* - s$)	Masa unitară (x^*)
1	$\geq 0,5$ kN	≥ 80 g/m ²
2	$\geq 1,0$ kN	≥ 100 g/m ²
3	$\geq 1,5$ kN	≥ 150 g/m ²
4	$\geq 2,5$ kN	≥ 250 g/m ²
5	$\geq 3,5$ kN	≥ 300 g/m ²

este utilizată valoarea medie a încercării de poansonare (x^*) din care se scade abaterea standard (s)

În concordanță cu natura materialului de umplură se descriu variante de utilizare (VU), care împreună cu variantele de solicitare (VS) redau un sistem de clasificare a robusteții unui material geotextil. Variantele de solicitare sunt influențate de solicitarea dinamică din timpul punerii în operă și de pe întreaga perioadă de exploatare.

În tabelul 3.2. sunt date variante de utilizare a geotextilelor la realizarea terasamentelor, iar în tabelul 3.3. se prezintă variante de solicitare datorate instalării acestora și a utilajelor folosite.

Tabel 3.2.

Variante de utilizare a geotextilelor la realizarea terasamentelor în corelare cu natura materialului de umplură

Variante de utilizare	Descriere
VU1	utilizarea geotextilului în cazuri în care solicitările mecanice datorate materialului de umplură și a procesului de instalare nu au nici un efect asupra geotextilului.
VU2	geotextilul folosit între un strat cu granule fine și unul grosier sau mixt.
VU3	geotextilul folosit între un strat cu granule fine și unul grosier sau mixt cu până la 40% pietriș din material granular cu canturi.
VU4	geotextilul folosit între un strat cu granule fine și unul grosier sau mixt cu până la 40% pietriș, blocuri din material granular cu canturi.
VU5	geotextilul folosit între un strat cu granule fine și unul grosier cu până la 40 % pietriș din material granular cu canturi.

Tabel 3.3.

Variante de solicitare datorate instalării și utilajelor folosite

Variante de solicitare	Descriere
VS1	Instalare și acoperire manuală și fără solicitări relevante asupra materialului datorate compactării.
VS2	Instalare și compactare mecanizată fără solicitări relevante asupra materialului datorate traficului de punere în operă.
VS3	Instalare și compactare mecanizată cu solicitări asupra materialului rezultând fâgașe/deformații în geosintetic de la 5 până la 15 cm.
VS4	Instalare și compactare mecanizată cu solicitări asupra materialului rezultând fâgașe/deformații în geosintetic de peste 15 cm.

Robustețea unui geotextil GRK, raportată la solicitările mecanice datorate punerii în operă a materialului de umplură reiese din caracteristicile de rezistență ale materialului geotextil, neluând în considerare masa (g/m^2) acestuia. Rezistența materialului geosintetic, pentru geotextile neșesute este determinată prin încercarea de poansonare (figura 3.4.), pe o probă de material circulară încastrată pe întregul perimetru și un cilindru de străpungere cu diametru de 50 mm. Pentru geosintetice fabricate din benzi sau folii șesute, rezistența materialului este dată de încercarea de rezistență la întindere.



Fig. 3.4. Încercarea de poansonare la geotextile

În tabelul 3.4. este arătată corelarea clasei robusteții materialului geotextil (GRK) cu variantele de utilizare (VU) și de solicitare (VS), iar în tabelul 3.5. este prezentată gruparea robusteții în funcție de caracteristicile tehnice ale materialelor geotextile [67].

Tabel 3.4.

Corelarea robusteții materialului geotextil cu variantele de utilizare și de solicitare

Varianta de utilizare a materialelor de umplură		Varianta de solicitare			
		creșterea adâncimii făgașelor în materialul de umplură ----- ----->			
		VS1	VS 2	VS 3	VS 4
VU 1	creșterea dimensiunii diametrelor a materialelor colțuroase	GRK3			
VU 2		GRK3	GRK3	GRK3	GRK4
VU 3		GRK3	GRK3	GRK4	GRK5
VU 4		GRK4	GRK4	GRK5	(1)
VU 5		GRK5	GRK5	(1)	(1)

(1) pentru aceste variante se cere mărirea grosimii stratului de turnare și/sau mărirea rezistenței la forfecare a materialului de umplură și/sau armarea sistemului. Pentru asigurarea funcției de separare pentru VS3 și VS4 se recomandă utilizarea materialelor geosintetice ce permit deformații mari.

Tabel 3.5.

Gruparea robusteții materialelor geotextilelor în funcție de caracteristicile tehnice ale acestora

Clasa de robustețe a geotextilelor	Geotextile neșesute		Geotextile țesute		Geotextile multifilament	
	rezistența la poansonare	masa unitară	rezistența la întindere	masa unitară	rezistența la întindere	masa unitară
	kN	g/m ²	kN	g/m ²	kN	g/m ²
GRK1	≥0,5	≥80	≥20	≥100	≥60	≥230
GRK2	≥1,0	≥100	≥30	≥160	≥90	≥280
GRK3	≥1,5	≥150	≥35	≥180	≥150	≥320
GRK4	≥2,5	≥250	≥45	≥220	≥180	≥400
GRK5	≥3,5	≥300	≥50	≥250	≥250	≥550

Geogriile și geocompozitele sunt utilizate în principal la lucrări de ranforsare. La acest tip de aplicație un aspect foarte important îl reprezintă conlucrarea (legătura) dintre pământ și geosintetic, datorita faptului că forțele se transmit prin intermediul frecării. Pentru terenurile coezive, geocompozitele au un avantaj mare în fața geogriilor datorită funcțiunilor în plus pe care le oferă – separare, filtrare, drenare.

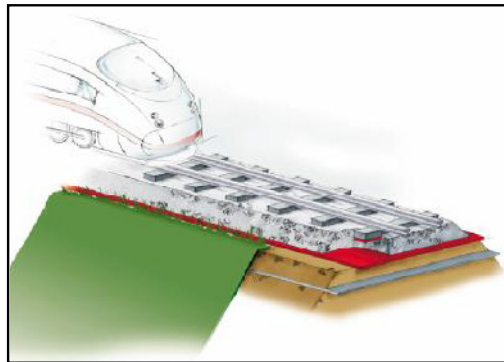


Fig. 3.5. Exemplul de utilizare a materialelor geosintetice pe taluzul terasamentului unei căi ferate

În mod special la construcții de căi ferate geosinteticele intervin în rezolvarea unor problemelor de genul:

- extinderea dimensiunii platformei căii și a rambleurilor;
- asigurarea capacității portante a platformei căii pentru noua sarcină pe osie și noua viteză de circulație;
- asigurarea protecției platformei contra înghețului printr-un strat portant, armat sau nu la baza căruia se instalează un geotextil neșesut din fibră

- continuă, rezistent la poansonare, având în general masa $\geq 250 \text{ g/m}^2$, cu rol principal de separare (figura 3.7.);
- drenarea apei din zona platformei;
 - drenarea pungilor de balast din corpul terasamentelor.

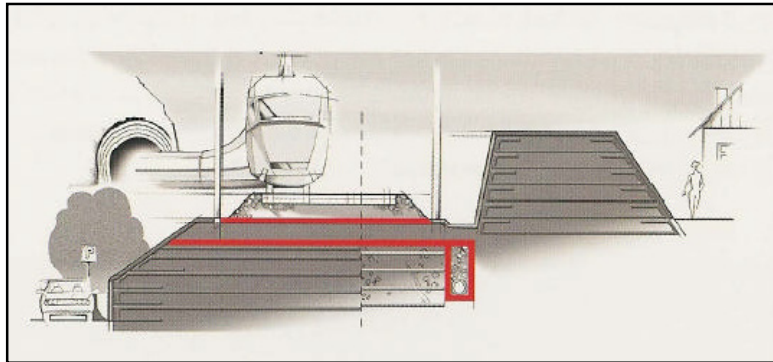


Fig. 3.6. Exemplet de utilizare a materialelor geosintetice în corpul terasamentelor unei căi ferate

Pentru precizarea cerințelor mecanice minime ce trebuie să le îndeplinească un material geosintetic atunci când îndeplinește doar funcția de separare, este relevantă capacitatea portantă a terenului de fundare pe care urmează să se construiască, teren caracterizat prin clasele de capacitate portantă (S_x). Se evidențiază astfel terenuri cu capacitate portantă foarte scăzută (în SN 640 241, 1997 definit ca S_0) și terenuri cu capacitate portantă mică și medie (notate cu S_1 respectiv S_2 în SN 640 317, 1997). Pe terenuri cu capacitate portantă bună S_3 și foarte bună S_4 de regulă nu este necesară utilizarea unui material geosintetic pentru separare, doar în cazul în care materialul este folosit în timp pentru proprietățile hidraulice și de armare.

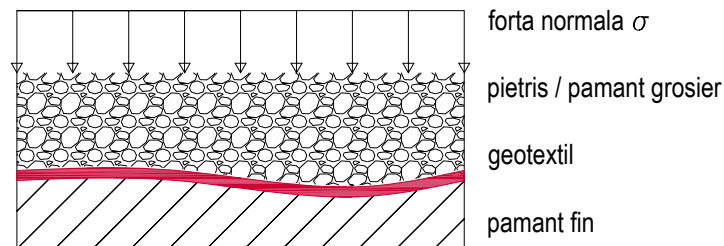


Fig. 3.7. Rolul de separare

Datele necesare proiectării cu succes a unui sistem ce cuprinde geotextile sunt atât cele legate de material (garantate de producător) cât și informații legate

de teren, apă și forțe exterioare ce influențează sistemul. În ceea ce privește terenul, datele ce trebuie cunoscute sunt:

- granulozitatea pământurilor ce urmează a fi armate/separate;
- coeficientul de permeabilitate k al pământului mai fin dintre cele două straturi;
- modulul de deformație edometric $M = \Delta p / \Delta \epsilon$ (daN/cm², kPa);
- CBR (indicele californian de capacitate portantă IM 003 - 96);
- clasa de capacitate portantă $S_{0..4}$.

Pentru apa din pământ datele necesare sunt:

- curentul de apă în cazul gradientului natural;
- presiunea apei din pori la încărcare statică sau dinamică;
- compoziția chimică a apei.

De asemenea, este necesară cunoașterea forțelor normale (statice sau dinamice) ce activează în zona materialului geosintetic în timpul construcției și după terminarea acesteia, pe parcursul perioadei de exploatare. Principalele caracteristici etalon ale geosinteticelor folosite ca și material de separare și armare sunt prezentate în tabelele 3.6. și 3.7., după cum urmează:

Tabel 3.6.

Caracteristici etalon ale geosinteticelor folosite ca și material de separare

Funcția materialului geosintetic	Rolul materialului geosintetic	Parametrii prin care se realizează funcția și rolul
Funcția principală de separare	rezistența la deteriorare (perforare)	- rezistența la întindere longitudinal și transversal, - elongația la întindere maximă, - rezistența la străpungere
	evitarea amestecării materialelor din straturi diferite	dimensiunea ochiurilor
Funcția secundară de filtrare	reducerea migrării particulelor de material (pământ)	dimensiunea ochiurilor
	înlesnirea infiltrării apei	permeabilitatea perpendiculară pe plan

Tabel 3.7.

Caracteristici etalon a geosinteticelor folosite ca și material de armare

Funcția materialului geosintetic	Rolul materialului geosintetic	Parametrii prin care se realizează funcția și rolul
Funcția principală de armare	preluarea solicitărilor de întindere	<ul style="list-style-type: none"> - rezistența la întindere longitudinal și transversal, - elongația la întindere maximă, - rezistența la întindere pe întreaga perioadă de exploatare a construcției, - comportare avantajoasă în raportul forță-elongație, - întinderea datorată eforturilor de lungă durată să fie proporțională cu încărcarea și durata acesteia,
	rezistență împotriva avarierii materialului	<ul style="list-style-type: none"> - scăderea rezistenței în timpul procesului de punere în operă, în situ sau în laborator - întinderea sub încărcări mari
	preluarea rezistenței la forfecare în masivul de pământ	<ul style="list-style-type: none"> - interacțiunea geosintetic-pământ - rezistența la alunecare - rezistența la smulgere
	permeabilitatea, rezistență la influența mediului înconjurător	<ul style="list-style-type: none"> - permeabilitatea normală pe plan, - rezistența împotriva influenței factorilor chimici și biologici
Funcția secundară de separare mecanică	evitarea amestecării materialului de umplură limitarea migrării particulelor de material (pământ) permiterea infiltrării apei pe verticală și în plan	<ul style="list-style-type: none"> - dimensiunea ochiurilor - permeabilitatea normală pe plan - permeabilitatea în planul geotextilului

Pentru a putea estima efectele folosirii într-o anumită situație a materialelor geosintetice, este necesară cunoașterea unor parametri și respectarea datelor impuse de proiectant/fabricant. Cerințele minime sunt cele legate de:

- *terenul de fundare / stratul suport*: clasa de capacitate portantă S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 ; valorile sunt trecute în tabelul 3.8; clasificarea pământului în funcție de compoziția granulometrică; coeficientul de permeabilitate k ; d_{85} ; valoarea pH-ului;
- *materialul de umplură*:
 - A: pietriș nisipos fără canturi $\varnothing \leq 150$ mm;
 - B: pietriș nisipos cu canturi $\varnothing \leq 150$ mm;
 - C: alte materiale de umplură cu forme rotunjite sau colțuroase.
- *încărcări din trafic sau alte încărcări*;
- *grosimea materialului de umplură*: $h_{\min.}$ = grosimea minimă de umplură la care pământul poate fi compactat fără a se avaria stratul de geosintetic;
- *perioada de funcționare*: temporară ≤ 2 ani;
 permanentă > 2 ani.

Tabel 3.8.

Clasa de capacitate portantă

Capacitate portantă	Clasa de capacitate portantă	CBR [%]	M_{E1} [MNm^{-2}] modul de deformare
foarte scăzută	S_0	1...3	3...6
scăzută	S_1	3...6	6...15
medie	S_2	6...12	15...30
mare	S_3	12...25	30...60
foarte mare	S_4	> 25	> 60

Pentru funcțiile de separare și filtrare ale geosinteticelor, prezintă importanță mărimea ochiurilor geosinteticelor, care trebuie corelată cu natura și granulozitatea materialului, de umplură (tabelul 3.9.).

Tabel 3.9.

Valori estimative a mărimii caracteristice a ochiurilor geosinteticului coordonat cu tipul materialului de umplură

Material de umplură din:	mărimea caracteristică a ochiurilor geosinteticului O_w min. O_w max. (mm)	permeabilitatea perpendiculară pe plan $k_{Gmin.}(ms^{-1})$
nisipuri	min. 0,05 max. 0,5	min. 10^{-4}
praf, pământuri prăfoase	min. 0,05 max. 0,2	min. 10^{-5}
argilă, pământuri argiloase	min. 0,05 max. 0,5	min. 10^{-6}

3.1.3. Considerații privind folosirea geosinteticelor la lucrări de drenare a apei

Terasamentele căilor de comunicație terestre (autostrăzi, drumuri, căi ferate) sunt expuse acțiunii permanente a apelor care pot provoca scăderea capacității portante și degradarea acestora. Apele care acționează asupra terasamentelor provin din precipitații atmosferice, ape de suprafață, ape subterane și ape curgătoare.

Apele de suprafață provenite din precipitații atmosferice cad direct pe taluzurile terasamentelor, iar dacă nu există condiții de îndepărtare rapidă a acestora, ele produc umezirea sau chiar saturarea pământului din terasament. Rezistența pământurilor îmbibate cu apă scade datorită micșorării unghiului de frecare interioară respectiv a coeziunii, fenomen întâlnit la majoritatea categoriilor de pământ. Astfel, sporește mobilitatea acestor pământuri iar terasamentele și taluzurile devin instabile. De aceea, în activitatea de proiectare, construcție și întreținere a drumurilor și căilor ferate trebuie acordată o atenție deosebită construcțiilor și dispozitivelor pentru colectarea și evacuarea apelor de suprafață.

Un aport important la reducerea acțiunii defavorabile a apei asupra stabilității și rezistenței terasamentelor îl au diversele materiale geosintetice, special create pentru rolul de drenare, filtrare și separare a diverselor pământuri din componența terasamentului.

Drenurile au rolul de a capta și a îndepărta permanent apa care stagnează în pământ și a căror prezență poate periclita rezistența și stabilitatea terasamentului. În componența lor intră materiale geosintetice, în general geocompozite speciale de drenare, ce asigură realizarea unor lucrări eficiente și durabile pentru asigurarea stabilității terasamentului. Drenurile se clasifică astfel:

- după *poziția drenului* față de axa terasamentului există drenuri transversale (cu axa perpendiculară sau înclinată față de axa longitudinală a căii) și *drenuri longitudinale* (cele mai des folosite în construcții rutiere, putându-se executa în axa drumului, pe acostamente, lângă borduri, sub fundul șanțului sau la piciorul taluzului);
- după *modul de amplasare* sunt drenurile de interceptie, drenuri de asanare și drenuri în spatele zidurilor de sprijin;
- după *sistemul constructiv* se deosebesc *drenuri verticale* (în care apa curge prin gravitație, gradientul se datorează pantei iar presiunea apei este egală cu presiunea la evacuare și de obicei este nulă) și *drenuri orizontale* care pot fi deschise, închise (cele mai des utilizate la construcția, reabilitarea și modernizarea căilor ferate), rigide, elastice, cu tuburi sau cu ecran;
- după *modul de interceptare* a stratului acvifer se realizează drenuri perfecte (care străbat complet stratul acvifer) și drenuri imperfecte (fundul drenului se află în stratul acvifer) [57].

Alegerea tipului de dren se face, la proiectare, în funcție de debitul de apă care trebuie colectat, de capacitatea de drenare și de cost. Prin calculul hidraulic se stabilește debitul de apă colectat, raza de influență a drenului, denivelarea pânzei

de apă produsă de teren în axa drumului, în dreptul drenului sau într-un punct oarecare din zona de acțiune a drenului, amplasamentul drenurilor în profil transversal al drumului sau căii ferate și adâncimea drenului. Pentru calcule, atunci când nu se fac determinări de laborator, valorile coeficientului de permeabilitate a pământului și geotextilelor se pot stabili conform tabelului 3.10.:

Tabel 3.10.

Valori orientative a coeficientului de permeabilitate

Denumirea materialului	Valoarea coeficientului de permeabilitate (cm/s)
pietriș curat	$10^2 \dots 10^{-1}$
nisip curat, nisip cu pietriș	$10^1 \dots 10^2$
nisip prăfos sau argilos	$10^{-2} \dots 10^{-3}$
praf nisipos sau argilos	$10^{-3} \dots 10^{-4}$
argilă nisipoasă sau prăfoasă	$10^{-5} \dots 10^{-6}$
argilă	$10^{-7} \dots 10^{-8}$
argilă grasă	$10^{-9} \dots 10^{-11}$
geotextil țesut cu masă de $150 \dots 400 \text{g/m}^2$ și coeficienți de permeabilitate de:	
- în plan sau k_p	$-1,6 \dots 5 \times 10^{-1}$
- perpendicular pe plan k_n	$-0,3 \dots 1,6 \times 10^{-1}$

În lucrări de asanare a pământului, geosinteticele se utilizează în două cazuri diferite:

- geosinteticul, de regulă geotextil, preia rolul filtrului invers granular și împreună cu corpul drenant, formează drenul. În acest caz geotextilul oprește mișcarea particulelor fine de pământ înspre corpul drenant și face posibilă mișcarea apei în această direcție;
- geosinteticul, de regulă geocompozit pentru drenare, constituie însuși drenul care colectează, conduce și evacuează apa.

Drenurile și sistemele de drenare trebuie să asigure colectarea și evacuarea rapidă a apei care ajunge la ele, fără pierderi de particule de pământ și cu o pierdere mică de presiune hidraulică. Pentru a îndeplini aceste necesități, drenurile trebuie executate întotdeauna cu agregate naturale selecționate, a căror conlucrare să asigure o capacitate suficientă de descărcare: permeabilitatea straturilor din care sunt alcătuite trebuie să crească pe direcția de scurgere, fiind transportoare de apă. Prin folosirea geosinteticeleor, a agregatelor naturale de calitate și a prefabricatelor drenante, se poate ajunge la o mare eficiență tehnico-economică și a duratei de exploatare a drenurilor. Combinarea acestor materiale constituie o îmbinare fericită și duce la rezultate excelente. Din studiile efectuate în ultimii ani, a rezultat că agregatele naturale, dintr-un singur strat neprotejat, se pot folosi la drenuri având permeabilitatea de $0,6 \dots 1,5 \text{ m/zi}$, în timp ce drenurile protejate cu geotextile și executate din agregate de calitate, asigură o permeabilitate de $300 \dots 1500 \text{ m/zi}$ sau mai mare. Aceste drenuri pot fi mult mai eficiente din punct de vedere al costului și

durabilității decât cele din balast, asigură o bună protecție a filtrului și are o mare capacitate de drenare. Prin realizarea unui dren se urmărește să se egalizeze cantitatea de apă primită și descărcată de aceasta cu cea filtrată de pământ. Fluxul de apă este determinat de permeabilitatea pământului și de cantitatea de apă. Când drenul se realizează cu filtru geosintetic, gradientul depinde de diferența dintre presiunea apei din pământ și geotextil. Colectarea, transportul și evacuarea (drenarea) apei sunt rapide dacă presiunea apei în pământ este maximă, iar în geosintetic este minimă. Fluxul de apă în geosintetice este determinat de permeabilitatea lor și de gradientul hidraulic, care depinde de panta geosinteticului și de diferența dintre presiunea apei la intrare în acesta și la evacuare.

Construcțiile de pământ, în special taluzurile acestora sunt supuse acțiunii agenților agresivi, cum ar fi variațiile de temperatură (în special fenomenul de îngheț-dezghet) și umiditate, acțiunea vântului și a apei din precipitații. Acțiunea acestor factori asupra taluzurilor produce erodarea pământurilor din corpul taluzului și de multe ori conduce la pierderea stabilității acestora. Pentru diminuarea acțiunii distructive a factorilor menționați și evitarea erodării și pierderii stabilității taluzurilor se execută diferite lucrări de protecție. Principalele lucrări de protecție a taluzurilor sunt:

- lucrări de natură biologică, de genul însămânțare, îmbrăcare cu pământ vegetal, plantare;
- lucrări mixte care constau în lucrări de natură biologică și construcții executate în pământ de genul caroiajelor și protecție cu geosintetice;
- lucrări de construcții executate în terenuri stâncoase cum sunt plasele ancorate simple, cu sau fără geosintetice, plase torcretate și ziduri de captușire și protecție [72].

Siguranța și stabilitatea sunt de o importanță vitală în construcția de cale ferată și rutiere, motiv pentru care pretențiile asupra materialelor utilizate sunt foarte mari. Creșterea încărcării pe osie și a vitezei de circulație au condus la aceste cerințe de-a lungul ultimilor decenii. Lucrări de îmbunătățire a parametrilor fundației căii de rulare, sunt destul de rare. Caracteristicile unice ale geosinteticelor ajută la prevenirea degradărilor căii, și de asemenea reduc riscurile de accidente, minimizează costurile de întreținere și de reparare necesare.

Numai geosinteticele cu caracteristici adecvate pot îndeplini standardele înalte de calitate cerute mai ales la lucrări de cale ferată. Din acest motiv, ca și concluzie se poate menționa faptul că, materialele geosintetice trebuie să dețină în mod obligatoriu următoarele caracteristici:

- rezistențe mecanice mari și aderență mare;
- capacitatea adecvată de retenție a particulelor fine în special sub încărcări dinamice;
- comportament optim la suprasarcini;
- capacitatea de a prelua tensiunile fără să cedeze;
- flexibilitate la denivelările din teren;
- permeabilitate ridicată la apă datorită optimizării dimensiunilor porilor și a omogenității distribuției lor;

- capacitate mare de descărcare a apei rezultând o reducere a presiunii apei din pori;
- deformații mici la încărcări constante de lungă durată și rezistențe bune pe termen lung.

3.1.4. Considerații asupra conlucrării dintre geosintetice și materialul din corpul terasamentelor

Materialul geosintetic folosit în corpul unui terasament are în marea majoritate a cazurilor atât rolul de separare cât și cel de armare. Interacțiunea dintre armătura geosintetică și pământ se realizează prin intermediul a două fenomene care nu apar consecutiv, și anume *ancorarea și rezistența la lunecare*.

Ancorarea determină transferul de efort dintre armătură și pământul adiacent, iar evaluarea acesteia este necesară atunci când suprafața de cedare, potențială sau critică, intersectează armătura geosintetică, conform figurii 3.8.

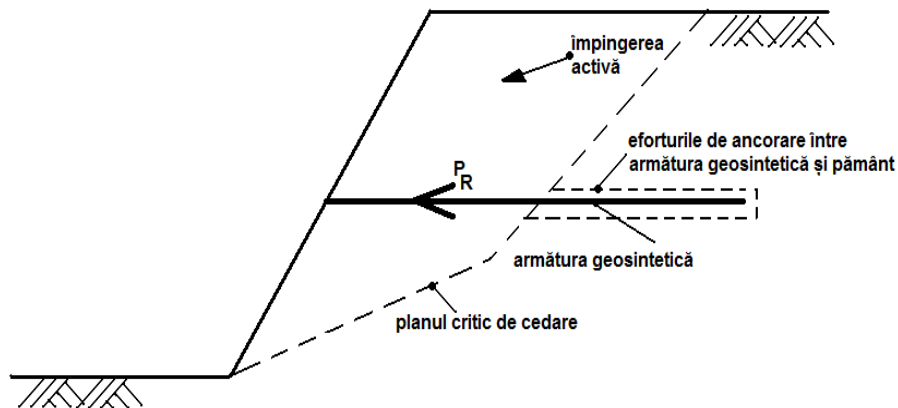


Fig. 3.8. Interacțiunea de tip ancorare geosintetic - pământ

În acest caz, eforturile de întindere din armătura geosintetică se transmit pământului adiacent prin ancorare, ce se prezintă sub forma a două mecanisme, și anume prin frecare sau prin ancorare la capete.

Frecarea dintre armătură și pământul din corpul terasamentului survine de-a lungul unei suprafețe paralele cu armătura, iar ancorarea la capete este un fenomen ce se produce într-un plan perpendicular pe planul de armare, conform figurilor 3.9. a și b.

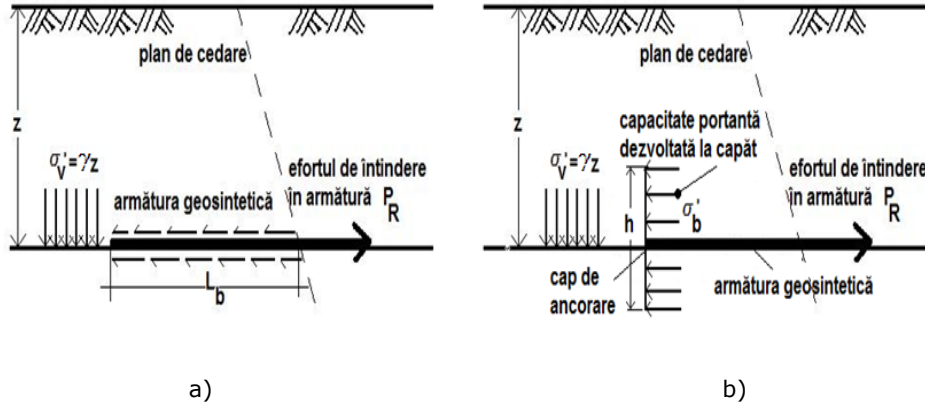


Fig. 3.9. Mecanism de ancorare:
a) prin frecare b) prin ancorare la capăt

Geosinteticele convenționale și cele realizate din fâșii plane se ancorează în pământ prin frecare, geogrițele se ancorează pe toată suprafața lor, iar geocompozitele se ancorează atât prin frecare cât și la capete (în funcție de materialele din care sunt realizate compozitele).

În cazul ancorării prin frecare, pentru menținerea echilibrului intern, rezistența maximă de proiectare a armăturii geosintetice trebuie să rămână inferioară forței de ancorare, și anume:

$$P_{R \max} \leq 2\sigma'_v L_b w \tan \phi_{sg} \quad (3.1)$$

unde:

w este lățimea armăturii geosintetice,
 ϕ_{sg} - unghiul de frecare aparentă dintre geosintetic și pământul adiacent,
 σ'_v și L_b - au semnificația din figura 3.9.

Se utilizează frecvent coeficientul de interacțiune f_b cu valoare maximă egală cu 1, adică frecarea dintre geosintetic și pământ nu poate depăși niciodată frecarea internă a pământului natural:

$$\tan \phi_{sg} = f_b \tan \phi' \quad (3.2)$$

unde:

ϕ' - valoarea de calcul a unghiului de frecare interioară al pământului.

Coeficientul de interacțiune f_b este o măsură a eficienței de ancorare prin frecarea armăturii geosintetice în pământ și cu cât valoarea acestuia este mai mare cu atât este mai eficientă ancorarea. Geosinteticele dezvoltă valori diferite ale

coeficientului în funcție de particularitățile de fabricație a materialelor. Valori caracteristice orientative ale coeficientului de interacțiune sunt date în tabelul 3.11.

Tabel 3.11.

Valori orientative pentru f_b

Tipul geosinteticului	Coeficientul de interacțiune f_b
Geotextile convenționale	
țesute	
monofilament	0,6...0,8
multifilament	0,75...0,9
bandă	0,5...0,7
nețesute	
îmbinate prin topire	0,7...0,8
îmbinate prin interțesere	0,7...0,8
îmbinate prin rășini	0,6...0,7
tricotate	
împletite	0,75...0,9
geogriile	
benzi	0,75...1,0
geogriile etriate	0,9...1,0
geocompozite	
cu componentă geosintetică	0,7...1,0
cu componentă georețea	0,5...0,8
benzi/bare	0,7...0,9

Conform figurii 3.9. b, rezistența de ancorare la capete se realizează fie prin suprafețe de lunecare deasupra și dedesubtul armăturii geosintetice, fie prin capete de ancorare amplasate la extremitatea armăturii geosintetice. Capacitatea portantă maximă a armăturii se raportează la dimensiunea zonei de ancoraj după condiția de echilibru:

$$P_{Rmax} = \sigma_b' h_a w_a \quad (3.3)$$

unde:

h_a este înălțimea zonei de ancoraj,

w_a este lățimea capului de ancoraj.

Valoarea rezistenței admisibile la ancoraj poate fi dedusă din presiunea verticală efectivă a pământului σ'_v , prin folosirea diagramei din figura 3.10. Curba limită inferioară permite o estimare mai sigură a rezistenței la ancoraj σ'_b .

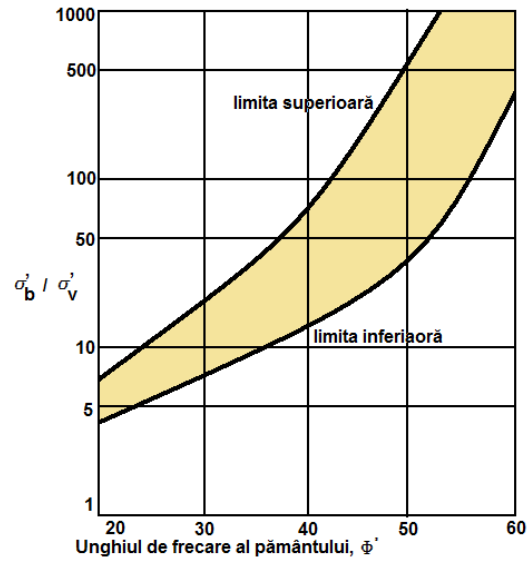


Fig. 3.10. Valoarea rezistenței admisibile la ancoraj

Al doilea mecanism de ancorare a armăturii geosintetice este cel dat de rezistența la lunecare. Rezistența la forfecare a unui pământ scade prin introducerea unui strat de armătură, în comparație cu pământul netulburat. Apare astfel pericolul de cedare de-a lungul suprafeței de armare conform figurii 3.11.

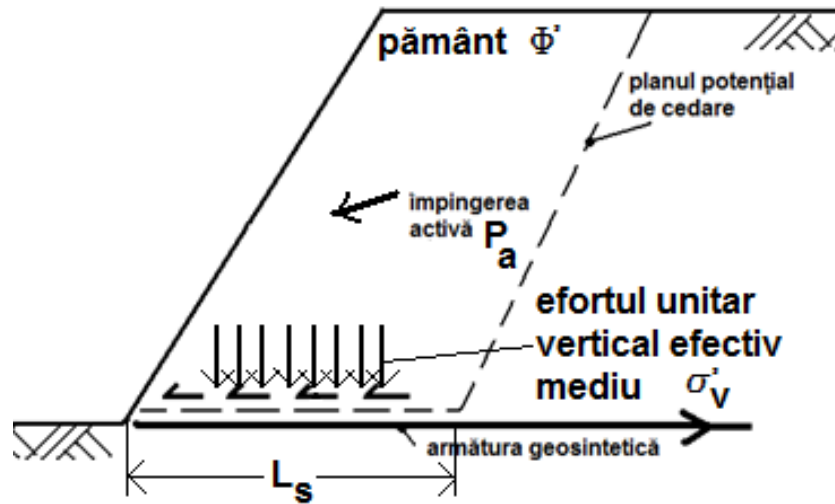


Fig. 3.11. Plan potențial de alunecare

Mecanismul este dictat de condiția de echilibru, dată de formula:

$$P_{a,max} \leq L_s w \sigma_v' \operatorname{tg} \phi_{sg} \quad (3.4)$$

unde:

$P_{a,max}$ este împingerea activă maximă a pământului,

L_s reprezintă lungimea de ancorare,

σ_v' este efortul unitar vertical efectiv mediu,

w reprezintă lățimea unei fâșii de geosintetic,

ϕ_{sg} este unghiul aparent de frecare dintre armătura geosintetică și pământul cu care intră în contact. Unghiul ϕ_{sg} poate fi raportat la unghiul de frecare al pământului prin folosirea ecuației 3.2. care determină eficiența frecării dintre armătura geosintetică și pământul adiacent [37].

3.1.5. Durabilitatea geosinteticelor din corpul terasamentului

Un aspect important în afara caracteristicilor mecanice sau hidraulice îl reprezintă durabilitatea geosinteticelor. Durabilitatea poate fi exprimată prin rezistență la condițiile atmosferice, rezistență la degradările chimice, rezistență la microorganismele, la fenomenul de hidroliză, rezistență la acizi și baze. Un anumit nivel al durabilității este o cerință importantă pentru funcționarea pe termen lung al materialului. Geosinteticele sunt materiale greu degradabile în condiții normale, atâta timp cât testul de durabilitate nu sesizează reduceri ale rezistenței din diverse motive. Condițiile normale sunt utilizarea lor în terenuri sau materiale de umplutură cu nivel freatic natural, fără a fi supus în mod constant intemperiei. Testele și încercările ce se referă la această caracteristică a geosinteticelor cuprind date despre:

- stabilitate chimică în mediu alcalin și acid;
- stabilitate biologică;
- stabilitate la intemperii (raze U.V.)

Geosinteticele care în testele standard nu prezintă scăderi relevante ale rezistenței, sunt considerate apte pentru folosirea lor în situații normale și pot fi utilizate în toate cazurile ca și materiale permanente, mai puțin atunci când sunt supuse intemperiei în mod direct.

Pământurile normale, necontaminate nu conțin chimicale critice pentru materia primă din care sunt fabricate geosinteticele respectiv care grăbesc degradarea acestora, dar asta atâta timp cât valoarea pH-ului oscilează între 4 și 9. În pământuri acide cu $\text{pH} < 4$ și mai ales în pământuri cu alcalinitate crescută cu un $\text{pH} > 9$ se cer analize suplimentare, conform tabelului 3.12. Este necesară o atenție sporită în cazul introducerii geosinteticelor în pământuri tratate sau stabilizate în prealabil cu lianți de genul ciment și var. În aceste cazuri se recomandă utilizarea geosinteticelor imune substanțelor alcaline, proprietate ce se găsește în fișa de descriere a materialului respectiv, dată de către producător.

Tabel 3.12.

Scăderea maximă admisă a rezistenței de întindere/la întindere conform testelor de stabilitate

Tipul stabilității testate	Reducerea procentuală maximă a rezistenței	
	Folosire temporară ≤ 2 ani	Folosire permanentă > 2 ani
rezistența la intemperii	max. 25%	max. 5%
biologică	max. 25%	max. 5%
chimică pentru medii puternic acide cu ph < 4	max. 25%	max. 5%
chimică pentru condiții normale de teren și apă cu ph-ul între 4...9	max. 25%	max. 5%
chimică pentru mediu puternic alcalin cu ph > 9	max. 25%	max. 5%

Indiferent de compoziția materialului din care este fabricat geosinteticul, nu este recomandată lăsarea acestuia descoperit timp de mai multe săptămâni. Nici tehnologia actuală nu permite realizarea unui material prim, din care să se fabrice firele sau benzile unui geosintetic capabil să nu își modifice rezistențele în cazul în care este expus timp îndelungat intemperiiilor. Se recomandă astfel ca rezistența la intemperii să fie corelată cu o perioadă maximă de expunere a materialului geosintetic neacoperit conform tabelului 3.13.

Procesul de îmbătrânire al materialului datorat intemperiiilor, începe de la suprafața acestuia însemnând că primele straturi ale geosinteticului vor fi afectate. Geosinteticele, în special geogrițele cu secțiune transversală (grosime) mică își vor pierde mai repede rezistențele.

Tabel 3.13.

Scăderea maximă a rezistenței prin expunere la intemperii a materialelor geosintetice neacoperite

Timpul maxim până la acoperire	Scăderea procentuală maximă a rezistențelor, datorată expunerii intemperiiilor SR EN 12224-2001	Rezistența la intemperii
1 lună (vara) – 4 luni (iarna)	20%	mare
2 săptămâni	40%	mijlocie
2 zile	nu sunt necesare încercări de laborator	mică

Conform acestui tabel, geosinteticele care în urma încercărilor de laborator dovedesc o scădere a rezistențelor la alungire de peste 5% după ce au fost expuse (desfăcute din ambalaj acolo unde este cazul) trebuie acoperite cât mai urgent posibil (în maxim 2 zile). În cazul în care geosinteticele sunt expuse timp îndelungat (1 lună pe timpul verii sau 4 luni iarna) trebuie verificate încercările impuse de normativul SR EN 12224 (2001).

3.2. Folosirea materialelor geosintetice la armarea pernelor de fundare a construcțiilor pe terenuri slabe

3.2.1. Generalități

În principal, terenurile slabe de fundare sunt alcătuite din pământuri caracterizate prin capacitate portantă redusă și deformabilitate mare, din rândul acestora menționându-se:

- pământuri sensibile la umezire (PSU);
- pământuri cu umflări și contracții mari (PUCM);
- pământuri lichefiabile;
- umpluturi dezorganizate și slab consolidate.

Asigurarea stabilității, rezistenței și exploatarei normale a construcțiilor fundate pe astfel de pământuri impune luarea unor măsuri speciale, care de regulă vizează atât terenul de fundare cât și sistemul constructiv al infrastructurii și suprastructurii construcțiilor.

Fundarea construcțiilor pe terenuri slabe se poate realiza fie prin sisteme de fundare indirectă (piloți, coloane) sau fundare directă de adâncime (chesoane), fie prin îmbunătățirea terenurilor în vederea aplicării sistemelor de fundare directă de suprafață (de mică adâncime).

Aplicarea sistemelor de fundare indirectă sau de fundare directă de adâncime necesită tehnologii și utilaje speciale, ceea ce duce evident la costuri ridicate. Din acest motiv, se impune, ca adoptarea acestor sisteme de fundare să se facă cu mult discernământ, în urma analizării comparative sub aspect tehnico-economic și a variantei de îmbunătățire a terenului de fundare, astfel încât să se poată aplica fundarea directă de suprafață.

Principalele modificări ale proprietăților terenurilor slabe de fundare, care se obțin prin îmbunătățirea acestora prin diverse metode și procedee, constau în:

- reducerea compresibilității;
- creșterea rezistenței la forfecare;
- micșorarea permeabilității, contractilității, gelivității etc.

Clasificarea metodelor și procedeele de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare, făcută după mai multe criterii (caracterul metodei, tehnologia folosită, felul transformărilor cantitative și calitative care au loc în structura pământurilor supuse îmbunătățirii etc.), este schematic prezentată în figura 3.12.

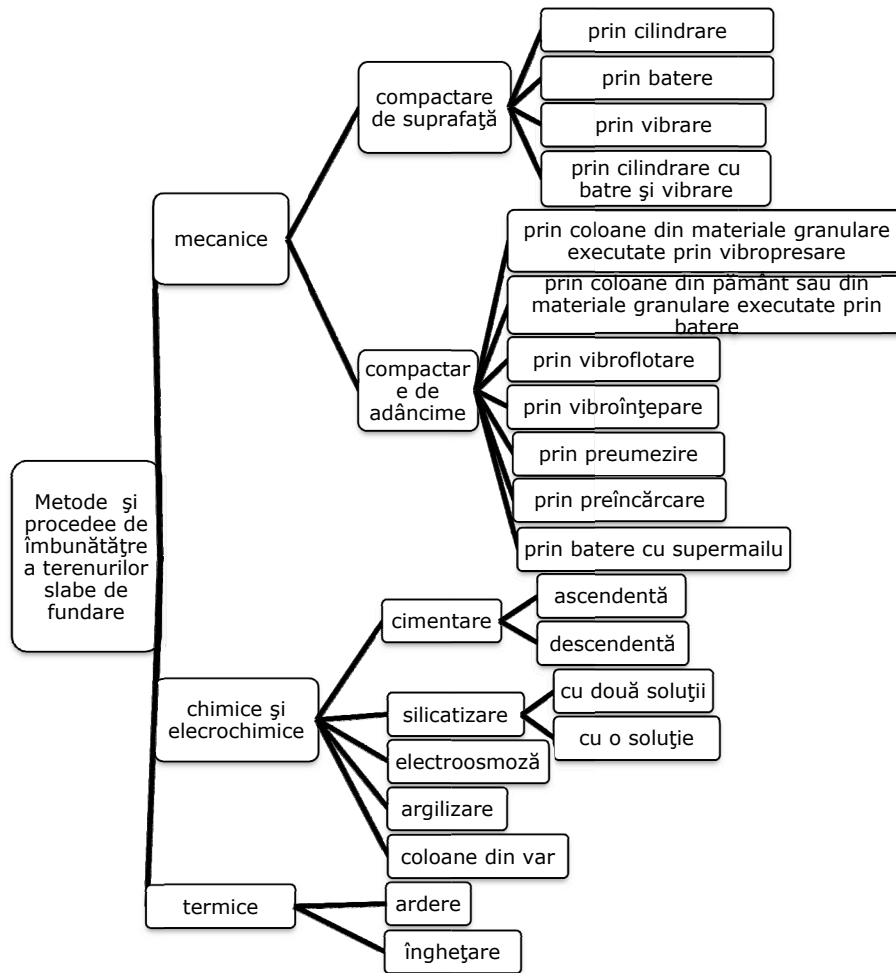


Fig. 3.12. Clasificarea metodelor și procedeele de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare

Aplicarea metodelor mecanice de îmbunătățire are ca rezultat numai transformări de natură cantitativă în structura pământului, producând îndesarea (compactarea) acestuia, iar metodele chimice, electrochimice și termice pot produce

și transformări de ordin calitativ, prin formarea de noi legături structurale între particulele solide componente ale terenului.

3.2.2. Perne de fundare

O soluție tehnică pentru fundarea directă de suprafață în cazul terenurilor slabe de fundare o constituie și folosirea pernelor de fundare realizate din pământ, balast sau alte materiale granulare, prin care se înlocuiește o parte din terenul slab de fundare.

Pentru realizarea pernei de fundare se excavează pe o anumită adâncime terenul slab și apoi se așează în straturi materialul ales pentru realizarea pernei, care se compactează cu una din metodele compactării de suprafață.

Grosimea pernei se determină din condiția ca tasarea, dată de stratul de teren slab rămas sub pernă, să nu depășească tasarea admisibilă pentru construcția în cauză.

În cazul pernelor așezate pe straturi argilo-prăfoase cu consistență redusă, grosimea trebuie verificată și din condiția ca presiunea la baza pernei, dată de greutatea proprie a acesteia și eforturile transmise de fundație, să nu depășească capacitatea portantă acceptată pentru stratul slab p_{acc} , adică:

$$\gamma_p \cdot h_p + K \cdot p_{ef} \leq p_{acc} \quad (3.5)$$

unde:

γ_p - greutatea volumică a materialului din pernă;

h_p - grosimea pernei;

p_{ef} - presiunea efectivă pe talpa fundației;

K - coeficient de repartizare a eforturilor unitare verticale în teren.

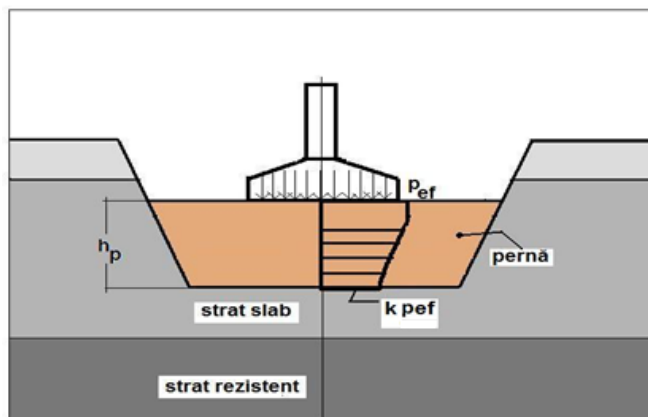


Fig. 3.13. Pernă de fundare

Pernele din pământ se folosesc în cazul pământurilor sensibile la umezire, având ca scop realizarea sub talpa fundației a unei zone de pământ compactat, insensibil la umezire. Perna se realizează din pământ excavat în prealabil, din groapa de fundație, adus la umiditatea optimă de compactare și compactat prin cilindrare sau batere, până la atingerea unei densități în stare uscată de $1,60 \dots 1,65 \text{ g/cm}^3$ sau mai mare.

Pernele din pământ se extind lateral în jurul fundației, în ambele direcții, cu jumătate din latura fundației, dar nu mai puțin de 1,0 m. Pernele din balast, piatră spartă, nisip mare sau din alte materiale granulare se folosesc în cazul unor terenuri slabe, alcătuite din nisipuri fine afânate, pământuri argilos-prăfoase de consistență redusă, mături etc. În aceste cazuri se urmărește ca între talpa fundației și stratul de terenul foarte compresibil să se interpună un strat puțin deformabil. Materialul granular se așează în straturi de $20 \dots 30 \text{ cm}$ și se compactează de preferință cu cilindri compactori vibranți sau plăci vibratoare, până la atingerea unei densități în stare uscată de $1,65 \dots 1,70 \text{ g/cm}^3$. Se recomandă ca materialul granular să aibă o granulozitate continuă, caracterizată de un coeficient de neuniformitate $U_n > 15$. Extinderea în lateral a bazei pernelor de fundare din materiale granulare, față de marginile tălpii fundațiilor, se face la distanța cel puțin egală cu grosimea pernei.

3.2.3. Perne de fundare armate cu materiale geosintetice

Capacitatea portantă și deformabilitatea pernelor de fundare depind atât de natura și caracteristicile materialului folosit pentru executarea lor, cât și de calitatea și eficiența compactării acestuia. Sporirea capacității portante și reducerea tasării pernelor de fundare, în vederea preluării unor încărcări mai mari de la fundații, se poate realiza prin armarea acestora cu materiale geosintetice.

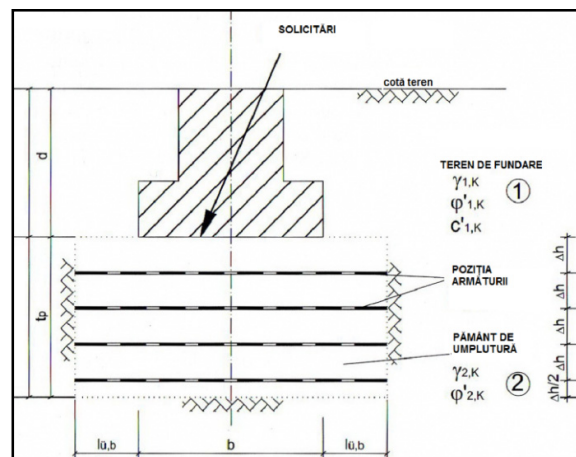


Fig. 3.14. Pernă de fundare armată cu material geosintetic [34]

Din rândul materialelor geosintetice pentru armarea pernelor de fundare cel mai mult se folosesc geotextilele țesute, geocompozitele și geogribele.

Geotextilele sunt produse industriale fabricate din fibre sintetice, prezentând unele avantaje precum: grosimea redusă, permeabilitate la apă și care se păstrează în timp, durabilitate, rezistențe la întindere și alte solicitări, rezistențe la acțiunea chimică și biologică.

Geocompozitele de armare sunt geotextile nețesute armate la rândul lor cu fibre polimerice, care sporesc considerabil caracteristicile de rezistență și anduranță, oferind o armare eficientă a pământurilor coezive sau slab coezive.

Geogribele sunt rețele din mase plastice, formate din nervuri și noduri, cu sau fără îmbinări sudate sau alte legături, prezentându-se ca o placă perforată sau o grilă din fire de polietilenă țesută.

Armarea pernelor de fundare cu geosintetice sporește rigiditatea la încovoiere a acestora, ceea ce conduce la reducerea tasărilor ca valori absolute și la creșterea capacității portante. La proiectarea unei perne de fundare armate cu geosintetice trebuie luate în considerare toate încărcările statice și dinamice, care acționează asupra fundației, precum și caracteristicile terenului, inclusiv nivelul pânzei freatice, pentru a stabili cerințele impuse materialului geosintetic și dimensiunile acestuia.

În tabelul 3.14. se prezintă etapele de proiectare a pernelor armate cu geosintetice [106]:

Tabel 3.14.

Etapă de proiectare a pernelor de fundare armate cu geosintetice

Etapa	Acțiuni aferente etapei de proiectare	Cerințe / informații de bază
1	Identificarea terenului adiacent obiectivului. Identificarea terenului din punct de vedere geologic și geotehnic.	Plan de situație și planul de nivelment. Stratificație teren și localizarea nivelului apei subterane.
2	Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului.	Greutate volumică, unghi de frecare interioară, coeziune, valoarea CBR, compresibilitate, rezistența la îngheț.
3	Extragerea ariei delimitate și stabilirea condițiilor de bază.	Caracteristici geometrice ale amplasamentului. Condiții relevante.
4	Condiții externe, solicitări dinamice (trafic).	Încărcări statice, solicitări dinamice, perioada de exploatare, cerințe asupra eficiența exploatarei (tasări, adâncimea fâgașelor la lucrări rutiere)
5	Condiții asupra straturilor de fundare.	Compresibilitate, permeabilitate, rezistența la îngheț.

6	Stabilirea caracteristicilor materialelor folosite la realizarea pernei de fundare.	Densitatea scheletului mineral, granulozitate, unghi de frecare interioară, coeziune, compresibilitate, densitatea, capacitatea de îndesare, metode de stabilizare.
7	Dimensionarea și stabilirea rezistențelor materialului geosintetic de armare.	Stabilirea valorilor minime asupra: rezistenței la întindere pe termen lung, rezistența la deformare și lățimea de armare.
8	Stabilirea funcțiilor principale și secundare ale geosinteticului, respectiv caracteristicile minime necesare.	Funcția principală: armarea; funcția secundară separare, filtrare, drenare.
9	Reglementări asupra execuției	Instrucțiuni de punere în operă a materialelor folosite.
10	Controlul lucrării	Verificarea execuției.

Pernele de fundare armate cu geosintetice se impun a fi folosite atunci când verificarea privind siguranța la cedare a terenului nu este îndeplinită și soluțiile convenționale precum mărirea dimensiunilor fundației sau creșterea adâncimii de fundare nu sunt posibile.

Numărul straturilor de armare într-o pernă de fundare se stabilește în urma unui calcul static, dar indiferent de situație nu mai puțin de 2 straturi. Pentru fundații cu raportul laturilor $b/a \leq 0,2$, se cer verificări prin calcul pentru direcția scurtă b , iar pentru fundații cu raportul laturilor $b/a > 0,2$ verificările vor acoperi ambele direcții geometrice ale fundației. Distanțele dintre straturile de geosintetic Δh , se păstrează constante pentru întregul ansamblu al pernei de fundare, ținându-se cont de următoarele recomandări:

$$0,15\text{m} \leq \Delta h < 0,40 \text{ m} \quad (3.6)$$

$$\Delta h \leq 0,50 b \quad (3.7)$$

Lungimea tuturor straturilor de geosintetic așezate pe o direcție trebuie să fie egală, cu precizarea că valorile minime sunt date de următoarele criterii:

- pe direcția paralelă cu lățimea fundației b :

$$(b + 4 \cdot \Delta h) < l_b \leq 2b \quad (3.8)$$

- pe direcția paralelă cu lungimea fundației a :

$$(a + 4 \cdot \Delta h) < l_a \leq a + b \quad (b/a > 0,2) \quad (3.9)$$

$$l_a = a \quad (b/a \leq 0,2) \quad (3.10)$$

unde a și b sunt lungimea respectiv lățimea fundației.

Grosimea unei perne de fundare armate cu geosintetice reiese din condiția următoare:

$$t_p = (n_g + 0,5) \cdot \Delta h \quad (3.11)$$

unde t_p este grosimea pernei de fundare și n_g reprezintă numărul straturilor de geosintetic.

Indiferent de calcul se recomandă ca valorile minime, respectiv maxime ale grosimii pernei de fundare armate cu geosintetice să fie:

$$\min t_p = 2,5 \cdot \Delta h \quad (3.12)$$

$$\max h_p = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi_p}{2} \right) \quad (3.13)$$

unde ϕ_p este unghiul de frecare interioară a materialului de umplutură.

Caracteristicile geotehnice ale materialului de umplutură sunt corelate cu cerințele impuse construcției, respectiv fundației ce urmează să fie amplasată pe perna de fundare armată cu geosintetice. Capacitatea portantă, comportamentul la deformații, sensibilitatea la îngheț, capacitatea de drenare, valoarea pH-ului sunt caracteristici ce trebuie să corespundă conform normativelor, pentru orice variantă de fundare. Omogenitatea materialului de umplutură, lipsa unor componente ce ar putea avaria materialul geosintetic sau prezența unor compuși chimici ce intervin negativ în duranța materialului geosintetic prin reducerea timpului de exploatare a compușilor polimerici, sunt de asemenea cerințe obligatorii asupra materialului de umplutură.

Solicitările asupra pernei de fundare armate cu geosintetice sunt de natură permanentă și temporară, iar acestora le sunt raportate/corelate rezistența la forfecare și rigiditatea pernei armate și a terenului de fundare, rezistența la întindere și elongația materialului geosintetic și conlucrarea/coeficientul de frecare dintre materialul de umplutură și geosintetic.

În domeniul ingineriei civile, durata minimă de timp, respectiv durata minimă de viață sau de exploatare a sistemului în cazul geosinteticele folosite cu rol de armare trebuie să fie de circa 25 de ani pentru lucrări temporare și de 50 până la 100 de ani pentru lucrări permanente.

3.2.4. Încercări experimentale asupra capacității portante a pernelor de fundare armate cu geosintetice

Încercările experimentale au fost efectuate în laboratorul Departamentului de Căi de Comunicații Terestre, Fundații și Cadastru, de la Facultatea de Construcții din Timișoara, departament din care fac parte din anul 2003. În principal prin încercările experimentale efectuate s-a urmărit evaluarea, calitativă și cantitativă, a sporului de capacitate portantă a pernelor de fundare armate cu diferite materiale geosintetice, în raport cu cea a pernelor de fundare nearmate.

3.2.4.1. Materiale folosite

Încercările le-am realizat utilizând un pământ nisipos ale cărui caracteristici au fost determinate în laboratorul Departamentului de Căi de Comunicații Terestre, Fundații și Cadastru, după cum urmează:

a) analiza granulometrică s-a realizat conform cerințelor descrise în SR EN 933-2:2012, iar rezultatele cataloghează proba încercată ca fiind un **nisip mare și mijlociu cu rar pietriș** [140].

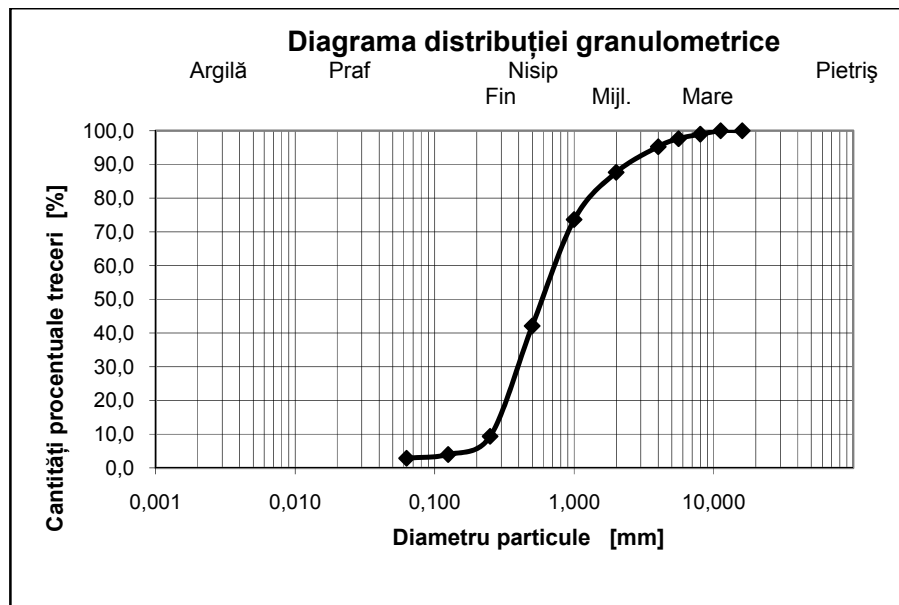


Fig. 3.15. Rezultatele analizei granulometrice

b) determinarea umidității optime de compactare prin încercarea Proctor s-a realizat conform SR EN 13286-2:2011. Cilindrul de încercare are un diametru de 10 cm, iar compactarea materialului în stend s-a făcut în trei straturi, cu 25 de lovituri pe fiecare strat. Au fost realizate patru încercări, curba proctor fiind construită cu valorile medii ale rezultatelor acestora.

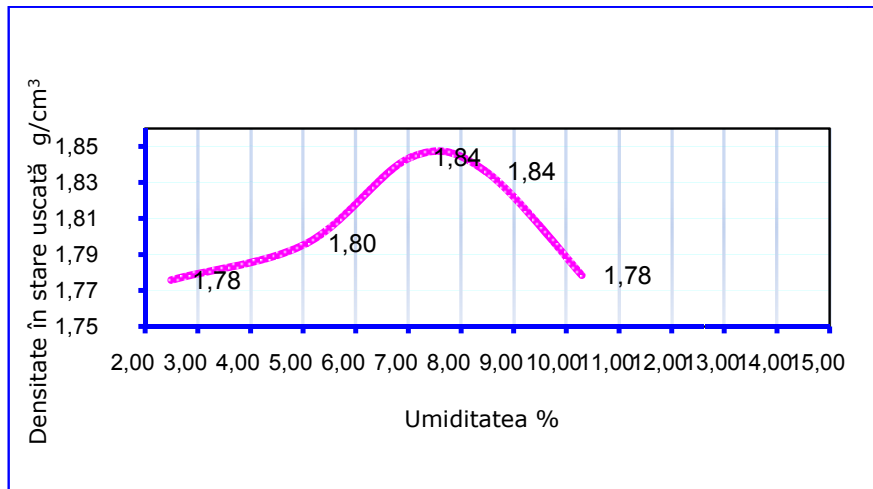
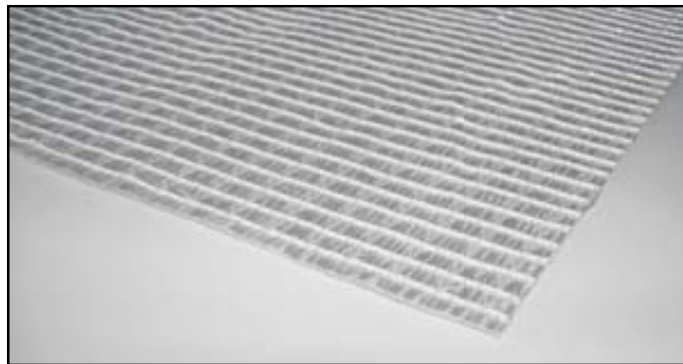


Fig. 3.16. Curba Proctor a nisipului analizat

Curba Proctor trasată în funcție de umiditate și densitatea uscată a nisipului analizat este redată în figura 3.16. A rezultat pentru nisipul folosit, o umiditate optimă de compactare $w_{opt} = 7,50 \%$, la o densitate de $\rho_{d,max} = 1,84 \text{ g/cm}^3$.

Încercările au fost realizate pe o pernă din nisip nearmată, simplu și dublu armată folosindu-se pentru armare trei tipuri diferite de materiale geosintetice, și anume:

1. **TenCate Rock PEC 55/50**, geocompozit de armare fabricat dintr-un material geosintetic nețesut armat cu fibre de poliester de înaltă densitate (fig. 3.17.), ale cărui caracteristici tehnice sunt prezentate în tabelul 3.15.;

Fig. 3.17. Geocompozit **TenCate Rock PEC 55/50**, fabricat de TenCate Geosynthetics

Tabelul 3.15.

Caracteristicile geocompozitului **TenCate Rock PEC 55/50**

Caracteristicile tehnice	Norma de încercare	Valoare
Rezistența la întindere longitudinală/transversală (valoare minimă)	ENISO 10319	55/50 kN/m
Elongația pe ambele direcții	ENISO 10319	10/10%
Permeabilitate	ENISO 11058	55 l/m ² s
Transmisivitate la încărcare de 20 kPa	ENISO 12958	20 *10 ⁻⁷ m ² /s
Deschiderea porilor O ₉₀	ENISO 12956	95 μm
Dimensiunea rolei și greutatea	-	5,3 x 100 m, 222 kg

2. **TenCate Geolon PP60**, geotextil țesut, folosit pentru stabilizare și aplicațiile de armare ale pământului. Este alcătuit din fibre de polipropilenă (figura 3.18.) cu modul de elasticitate crescut, dispuse astfel încât să formeze un geotextil țesut, structurat și stabil. Caracteristicile tehnice ale acestui geotextil sunt prezentate în tabelul 3.16.;

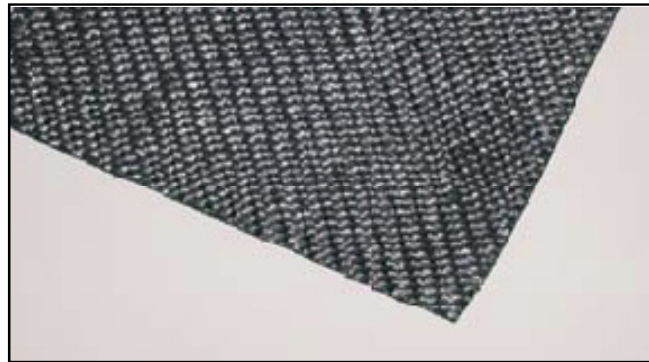


Fig. 3.18. Geotextil țesut **TenCate Geolon PP60**, fabricat de TenCate Geosynthetics

Tabelul 3.16.

Caracteristicile geotextilului **TenCate Geolon PP60**

Caracteristicile tehnice	Norma de încercare	Valoare
Rezistența la întindere longitudinală/transversală (valoare minimă)	ENISO 10319	66/62 kN/m
Elongația pe ambele direcții	ENISO 10319	9/9 %
Rezistența la întindere la 2%	ENISO 10319	15 kN/m

Rezistența la întindere la 5%	ENISO 10319	42 kN/m
Rezistența statică la poansonare CBR	ENISO 12236	6 kN
Perforare dinamică (căderea conului)	ENISO 13433	10 mm
Permeabilitate	ENISO 11058	25 l/m ² s
Deschiderea porilor O ₉₀	ENISO 12956	300 μm
Dimensiunea rolei și greutatea	-	5,2 x 100 m, 250 kg

3. **TenCate Miragrid GX 55/55**, geogrilă, destinată stabilizării pământurilor necoezive și aplicațiilor de ranforsare. Este realizată din fibre de poliester de înaltă rezistență, acoperite cu o îmbrăcămintă polimerică, așa cum se poate observa în figura 3.19. și ale cărei caracteristici tehnice sunt date în tabelul 3.17.;

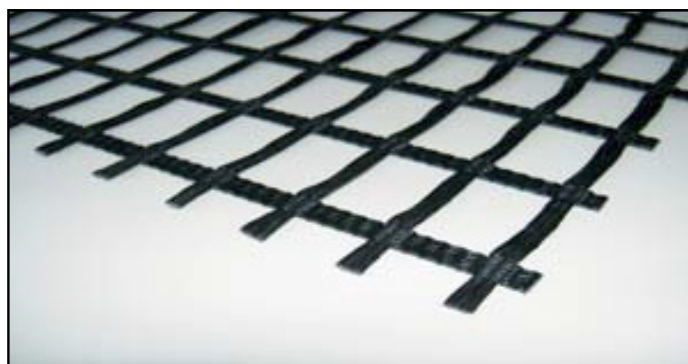


Fig. 3.19. Geogrilă **TenCate Miragrid GX 55/55**, fabricat de TenCate Geosynthetics

Tabel 3.17.

Caracteristicile geogreii **TenCate Miragrid GX 55/55**

Caracteristicile tehnice	Norma de încercare	Valoare
Rezistența la întindere longitudinală/transversală (valoare minimă)	ENISO 10319	55/55 kN/m
Elongația la încărcare maximă	ENISO 10319	10,5/10 %
Rezistența la întindere la 2%	ENISO 10319	10 kN/m
Rezistența la întindere la 5%	ENISO 10319	17 kN/m
Deschiderea ochiurilor long./trans.	-	20/35 mm
Dimensiunea rolei și greutatea	-	5,2 x 100 m, 244 kg

3.2.4.2. Metodica efectuării încercărilor experimentale

Încercările s-au realizat într-un stend metalic cu pereți fiși, care dispune de un perete de plexiglas pe una din fețele laterale, prin care poate fi urmărită vizual eventuala deplasare a straturilor de pământ și geosintetic (fig. 3.20.a). Cu vopsea roșie am marcat poziția materialului geosintetic în masa de nisip din în stend. Placa de încărcare utilizată la încercările efectuate are diametrul de 30 cm și îi sunt atașate trei fleximetre (fig. 3.20.b). Dimensiunea plăcii respectă proporția raportată la dimensiunile stend-ului conform STAS 8942/3-90 și anume adâncimea afectată de încărcare (zona activă) este minim triplul diametrului plăcii. Suprafața plăcii de asemenea se încadrează peste minimul acceptat de STASUL mai sus menționat.



Fig. 3.20.a. Vedere generală a stendului metalic



Fig. 3.20.b. Placa de încercare



Fig. 3.20.c. Fleximetrele utilizate

Folosind pământul nisipos mai sus amintit, abordarea încercărilor experimentale am conceput-o ca o comparație a unor situații des întâlnite în realitate și anume aceea în care, pământul utilizat este elementul invariabil la care trebuie să se găsească materialul geosintetic cel mai eficient având rolul principal de armare. Am urmărit diferențele rezultatelor încercărilor cu placa pentru determinarea capacității portante în următoarele situații [105]:

- *pernă realizată în stend din nisip compactat pe trei straturi cu grosime de 30 cm, nearmat;*
- *pernă realizată în stend din nisip compactat în două straturi cu grosime de 50 cm, între care s-a dispus un strat de material geosintetic;*
- *pernă realizată în stend din trei straturi de nisip cu grosime de 30 cm, compactate și intercalate cu două straturi de material geosintetic.*

La începutul fiecărei încercări am prelevat probe cu stanța pentru determinarea densității nisipului în momentul încercării și a umidității impuse, ce corespunde în proporție de 98% cu umiditatea optimă de compactare. Prelevarea s-a realizat la suprafața finisată și compactată, înainte de începerea încercării propriuzise. Probele prelevate au fost cântărite cu balanța electronică înainte și după uscarea lor în etuvă (fig. 3.21.) determinându-se densitatea nisipului și umiditatea acestuia iar apoi prin calcul gradul de compactare [144].



Fig. 3.21. Balanța electronică și etuva utilizate la efectuarea determinărilor de laborator

Încercările au constat în supunerea materialului nisipos din stend, asimilat cu *pernă de fundare nearmată, armată cu un strat și armată cu două straturi de geosintetic*, la trei trepte de încărcare cu valori de 100, 200 și 300 kPa. Pentru fiecare treaptă de încărcare a fost înregistrată, cu ajutorul fleximetrelor, evoluția tasărilor până la stabilizare.

Tasărilor înregistrate de fleximetre au fost prelucrate în programul tabelar Microsoft Excel, iar pe baza acestora s-au construit curbele de compresiune-tasare și au fost calculate valorile modulilor de deformație liniară E_{v1} (pe ramura de încărcare) și E_{v2} (pe ramura de reîncărcare), precum și raportul E_{v2}/E_{v1} .

Valorile modulilor de deformație liniară E_{v1} și E_{v2} , respectiv raportul E_{v2}/E_{v1} au fost calculate pentru intervalul de presiuni de 90 și 210 kPa, aplicând relația:

$$I = 0,75 \cdot 0,30 \frac{\Delta}{\Delta} \cdot 1000 \quad [] \quad (3.14)$$

în care:

$\Delta p = 210-90$ kPa intervalul de presiuni,

$\Delta s =$ diferența tasării pe intervalul stabilit de 90 și 210 kPa.

3.2.4.3. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor

ÎNCERCAREA nr.1 - pernă din nisip nearmată.

Grosimea finală a pernei din nisip nearmată, realizată în stendul de încercare, a fost 90 cm, iar compactarea acesteia s-a făcut în trei straturi, fiecare având o grosime de 30 cm.

După realizarea prin compactare a pernei din nisip nearmată, au fost prelevate trei probe netulburate în ștanțe de laborator (fig. 3.22.).



Fig. 3.22. Prelevarea probelor netulburate cu ștanțe de laborator

Caracteristicile geotehnice determinate în laborator (ρ_w și w) pe probele de nisip prelevate, precum și cele calculate pe baza acestora pentru precizarea stării de compactare (ρ_d și D) sunt menționate în tabelul 3.18.

Tabel 3.18.

Caracteristici geotehnice ale pernei din nisip nearmate

Proba	Densitatea nisipului din pernă	Umiditatea naturală a nisipului din pernă	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	w_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$w_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,81	7,13	1,81	7,10	1,69	92
2	1,80	7,20				
3	1,81	6,97				

Valorile densității în stare uscată ale nisipului din pernă și ale gradului de compactare au fost calculate cu relațiile:

$$= \frac{\rho_w}{1+w_i/100} \quad (3.15)$$

Curba de compresiune - tasare, construită în urma prelucrării tasărilor stabilizate înregistrate de fleximetre pentru fiecare treaptă de încărcare (tabelul 3.19.), este redată în figura 3.23.

Tabel 3.19.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.1

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s_{med} [mm]
			s_1	s_2	s_3	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
14:00	14:00	100kPa	5	9	8	0,73
	14:05		6	10	9	0,83
	14:10		7	10	9	0,87
	14:15		7	10	9	0,87
	14:20		7	10	9	0,87
14:20	14:20	200 kPa	23	30	25	2,60
	14:25		26	31	25	2,73
	14:30		29	31	26	2,86
	14:35		29	31	26	2,87
	14:40		30	31	26	2,90
14:40	14:40	300 kPa	78	75	66	7,30
	14:45		80	77	68	7,50
	14:50		82	79	69	7,67
	14:55		86	82	72	8,00
	15:00		90	86	74	8,33
	15:05		91	88	77	8,53
	15:10		92	88	77	8,57
	15:15		92	88	77	8,57

3.2 – Folosirea materialelor geosintetice la armarea pernelor de fundare 127

continuare Tabel 3.19.

0	1	2	3	4	5	6
		DESCĂRCARE				
15:15	15:15	100 kPa	91	86	76	8,43
	15:20		91	87	76	8,47
	15:25		91	89	76	8,53
15:25	15:25	0 kPa	80	69	67	7,20
	15:30		79	67	66	7,07
	15:35		79	67	66	7,07
	15:40		79,0	67,0	66,0	7,07
		REÎNCĂRCARE				
15:40	15:40	100 kPa	92	85	80	8,57
	15:45		92	85	80	8,57
	15:50		92	85	80	8,57
15:50	15:50	200 kPa	102	97	88	9,57
	15:55		103	97	89	9,63
	16:00		103	97	89	9,63
	16:05		103	97	89	9,63
16:05	16:05	300 kPa	124	123	105	11,73
	16:10		125	124	106	11,83
	16:15		126	126	107	11,97
	16:20		128	127	108	12,10
	16:25		129	129	109	12,23
	16:30		129	129	109	12,23
	16:35		129	129	109	12,23

Valorile modurilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 11587,98 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 18620,69 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 1,61$.

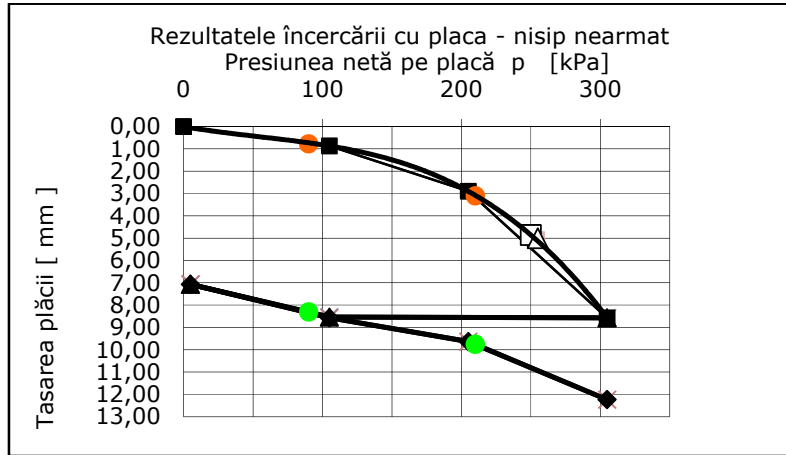


Fig. 3.23. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip nearmate

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 4,85 \text{ mm}$ (\square), iar valoarea încărcării, care produce o tasare de 5 mm și care se acceptă drept capacitate portantă maximă [125], este **255 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 2 - pernă din nisip armată cu un strat de geocompozit **Rock PEC 55/50**

Așternerea nisipului din pernă s-a făcut în două straturi, cu grosimi egale de 45 cm, iar între ele s-a dispus armătura din geocompozit **Rock PEC 55/50**.

Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna armată, determinate pe probele prelevate sunt date în tabelul 3.20.

Tabel 3.20.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geocompozit

Rock PEC 55/50

Proba	Densitatea nisipului din pernă	Umiditatea naturală a nisipului din pernă	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	w_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$w_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,83	6,72	1,82	6,87	1,70	92
2	1,81	6,92				
3	1,82	6,96				

Datele primare privind tasările înregistrate pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.21, iar curba de compresiune – tasare rezultată în urma prelucrării acestora se poate urmări în figura 3.24.

Tabel 3.21.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.2

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [$\text{mm}\cdot 10^{-1}$]			Tasarea medie S_{med} [mm]
			S_1	S_2	S_3	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
10:40	10:40	100 kPa	5	10	9	0,80
	10:45		5	11	10	0,87
	10:50		5	11	10	0,87
	10:55		5	11	10	0,87
10:55	10:55	200 kPa	20	33	33	2,87
	11:00		20	33	35	2,93
	11:05		22	35	36	3,10
	11:10		22	35	36	3,10
0	1	2	3	4	5	6
	11:15		22	35	36	3,10
11:15	11:15	300 kPa	50	61	57	5,60
	11:20		52	64	60	5,87
	11:25		55	65	61	6,03
	11:30		57	67	62	6,20
	11:35		57	67	62	6,20
	11:40		57	67	62	6,20
DESCĂRCARE						
11:40	11:40	100 kPa	56	66	62	6,13
	11:45		56	66	62	6,13
	11:50		56	66	62	6,13
11:50	11:50	0 kPa	46	50	51	4,90
	11:55		45	49	49	4,77
	12:00		45	49	49	4,77
	12:05		45	49	49	4,77
REÎNCĂRCARE						
12:05	12:05	100 kPa	54	64	65	6,10
	12:10		54	64	65	6,10
	12:15		54	64	65	6,10

continuare tabel 3.2.

12:15	12:15	200 kPa	60	69	69	6,60
	12:20		60	70	70	6,67
	12:25		60	70	70	6,67
12:25	12:25	300 kPa	71	81	77	7,63
	12:30		75	87	81	8,10
	12:35		76	87	81	8,13
	12:40		76	87	81	8,13

Valorile modulilor de deformare liniară sunt $E_{v1} = 10714,29 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 31764,71 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 2,96$.

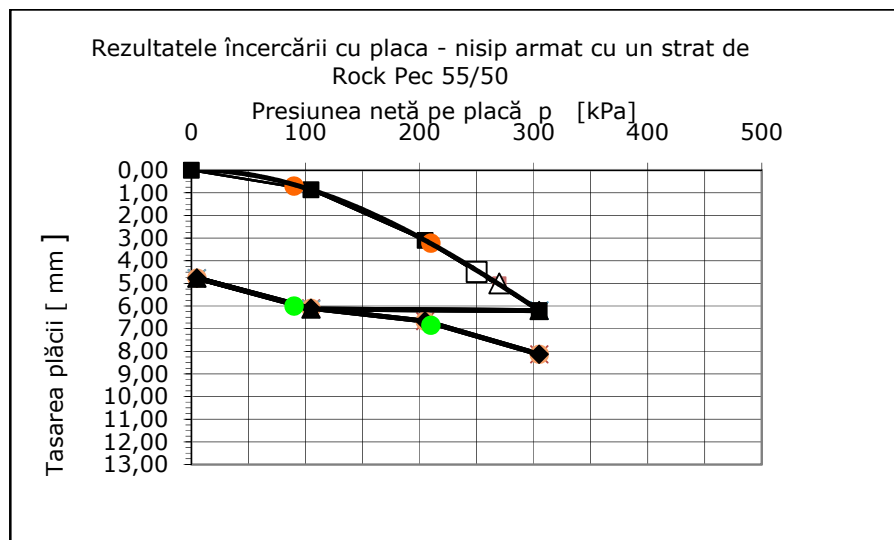


Fig. 3.24. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geocompozit **Rock PEC 55/50**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 4,5 \text{ mm}$ (□), iar valoarea capacității portante maxime (corespunzătoare tasării de 5 mm) este **270 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 3 - pernă din nisip armată cu un strat de geotextil țesut **Geolon PP60**

Compactarea nisipului din pernă s-a făcut în două straturi, cu grosimi egale de 45 cm, intercalând între ele armătura din geotextil țesut Geolon PP60.

Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna armată, determinate pe probe prelevate, în același mod ca și la încercările anterioare, sunt date în tabelul 3.22.

Tabel 3.22.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geotextil țesut

Geolon PP60

Proba	Densitatea nisipului din perna	Umiditatea naturală a nisipului din perna	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	w_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$w_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,81	7,28	1,81	7,11	1,69	92
2	1,80	7,11				
3	1,82	6,96				

Datele primare privind tasările înregistrate pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.23, iar curba de compresiune – tasare rezultată în urma prelucrării acestora se poate urmări în figura 3.25.

Tabel 3.23.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.3

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s_{med} [mm]
			s_1	s_2	s_3	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
8:10	8:10	100 kPa	11	11	12	1,13
	8:15		11	11	12	1,13
	8:20		11	11	12	1,13
8:20	8:20	200 kPa	35	24	30	2,97
	8:25		37	26	33	3,20
	8:30		37	26	33	3,20
	8:35		37	26	33	3,20
8:35	8:35	300 kPa	71	42	60	5,77
	8:40		72	42	61	5,83
	8:45		72	42	62	5,87
	8:50		73	43	63	5,97
	8:55		73	44	63	6,00
	9:00		73	44	63	6,00
DESCĂRCARE						
9:00	9:00	100 kPa	83	51	70	6,80
	9:05		83	51	70	6,80

132 Aspecte teoretice și practice privind folosirea eficientă a materialelor - 3

continuarea Tabel 3.23

	9:10		83	51	70	6,80
9:10	9:10	0 kPa	75	51	64	6,33
	9:15		73	50	63	6,20
	9:20		71	50	62	6,10
	9:25		71	50	62	6,10
0	1	2	3	4	5	6
	9:30		71	50	62	6,10
		REÎNCĂRCARE				
9:30	9:30	100 kPa	84	57	74	7,17
	9:35		84	57	74	7,17
	9:40		84	57	47	6,27
9:40	9:40	200 kPa	92	62	84	7,93
	9:45		93	63	82	7,93
	9:50		93	63	82	7,93
	9:55		93	63	82	7,93
9:55	9:55	300 kPa	108	69	94	9,03
	10:00		110	70	95	9,17
	10:05		111	71	96	9,27
	10:10		111	71	96	9,27
	10:15		111	71	96	9,27

Valorile modurilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 11250,00 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 15168,54 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 1,35$.

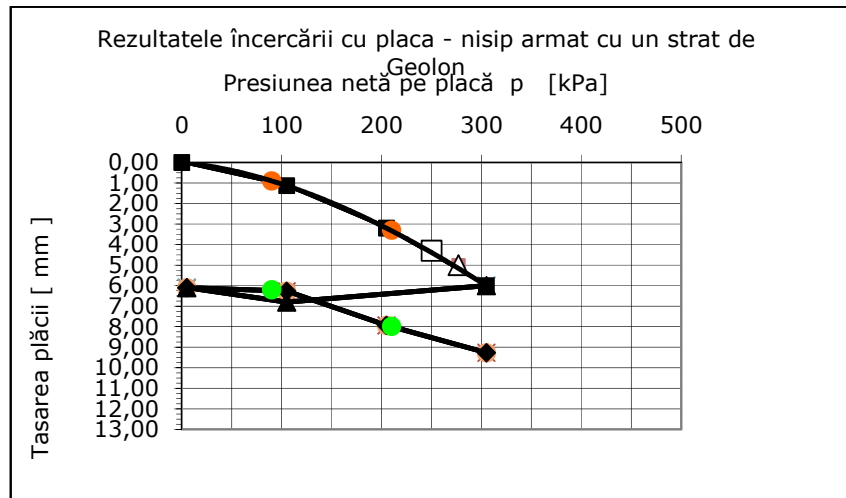


Fig. 3.25. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geotextil țesut **Geolon PP60**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 4,3 \text{ mm}$ (\square), iar valoarea capacității portante maxime (pentru $s = 5 \text{ mm}$) este **277 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 4 - pernă din nisip armată cu un strat de geogrilă **Miragrid GX 55/55**

Compactarea nisipului din pernă s-a făcut în două straturi, cu grosimi egale de 45 cm, iar pe suprafața primului s-a dispus armătura din geogrilă **Miragrid GX 55/55**. Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna armată, sunt prezentate în tabelul 3.24.

Tabel 3.24.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu un strat de geogrilă Miragrid GX 55/55

Proba	Densitatea nisipului din pernă	Umiditatea naturală a nisipului din pernă	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	W_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$W_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,83	7,19	1,82	7,33	1,69	92
2	1,81	7,27				
3	1,83	7,52				

Datele primare privind tasările înregistrate cu fleximetrele pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.25, iar în urma prelucrării acestora, curba de compresiune – tasare se poate urmări în figura 3.26.

Tabel 3.25.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.4

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s _{med} [mm]
			S ₁	S ₂	S ₃	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
10:00	10:00	100 kPa	5	4	6	0,50
	10:05		6	5	6	0,57
	10:10		6	5	6	0,57
10:10	10:10	200 kPa	23	19	22	2,13
	10:15		26	21	24	2,37
	10:20		27	23	25	2,50
	10:25		27	23	25	2,50
	10:30		27	24	25	2,53
10:30	10:30	300 kPa	64	48	60	5,73
	10:35		66	50	62	5,93
	10:40		67	52	64	6,10
	10:45		67	52	64	6,10
0	1	2	3	4	5	6
	10:50		68	52	64	6,13
DESCĂRCARE						
10:50	10:50	100 kPa	65	50	63	5,93
	10:55		65	50	63	5,93
	11:00		65	50	63	5,93
11:00	11:00	0 kPa	54	42	52	4,93
	11:05		53	41	50	4,80
	11:10		53	41	50	4,80
REÎNCĂRCARE						
11:10	11:10	100 kPa	64	52	64	6,00
	11:15		64	52	64	6,00
	11:20		64	52	64	6,00
11:20	11:20	200 kPa	71	60	71	6,73

continuare tabel 3.35

	11:25		71	60	71	6,73
	11:30		71	60	71	6,73
11:30	11:30	300 kPa	80	66	80	7,53
	11:35		81	67	80	7,60
	11:40		82	67	80	7,63

Valorile modulilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 11894,27 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 25714,29 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 2,16$.

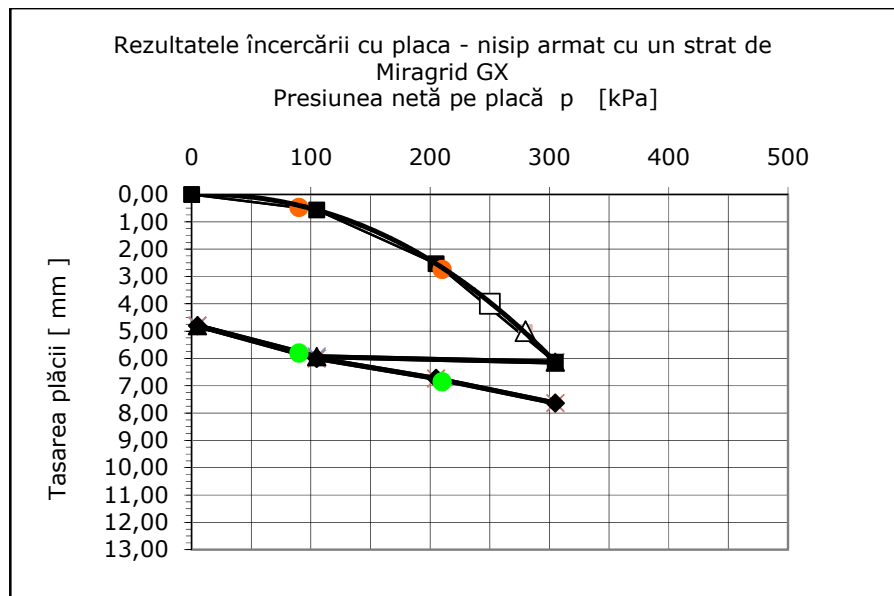


Fig. 3.26. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu un strat de geogrila **Miragrid GX 55/55**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 4,0 \text{ mm}$ (□), iar valoarea capacității portante maxime (pentru tasarea $s=5\text{mm}$) este **280 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 5 - pernă din nisip armată cu două straturi de geocompozit **Rock PEC 55/50**

Compactarea nisipului din pernă s-a făcut în trei straturi, cu grosimi egale de 30 cm, iar pe suprafața primului și celui de-al doilea strat, după compactare, s-a dispus armătura din geocompozit **Rock PEC 55/50**.

Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna armată, determinate pe probe prelevate, în același mod ca și la încercarea nr.1, sunt date în tabelul 3.26.

Tabel 3.26.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu două straturi de geocompozit Rock PEC 55/50

Proba	Densitatea nisipului din perna	Umiditatea naturală a nisipului din perna	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	w_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$w_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,84	7,10	1,81	7,06	1,70	92
2	1,83	6,81				
3	1,76	7,20				

Datele primare privind tasările înregistrate pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.27, iar curba de compresiune - tasare rezultată în urma prelucrării acestora se poate urmări în figura 3.27.

Tabel 3.27.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.5

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s_{med} [mm]
			s_1	s_2	s_3	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
10:30	10:30	100kPa	5	6	6	0,57
	10:35		6	6	6	0,60
	10:40		6	7	7	0,67
	10:45		7	8	7	0,73
	10:50		7	8	7	0,73
	10:55		7	8	7	0,73
11:00	11:00	200 kPa	19	18	17	1,80
	11:05		19	18	17	1,80
	11:10		19	19	18	1,87
	11:15		20	19	18	1,90
	11:20		20	19	21	2,00
	11:25		20	20	21	2,03
	11:30		20	20	21	2,03

3.2 – Folosirea materialelor geosintetice la armarea pernelor de fundare 137

continuare tabel 3.27

11:35	11:35	300 kPa	51	55	58	5,47
	11:40		52	56	59	5,57
	11:45		55	59	61	5,83
	11:50		55	59	61	5,83
	11:55		55	59	61	5,83
		DESCĂRCARE				
12:00	12:00	100 kPa	54	57	59	5,67
	12:05		54	57	58	5,63
	12:10		54	57	58	5,63
12:15	12:15	0 kPa	44	56	55	5,17
	12:20		44	55	55	5,13
	12:25		43	55	55	5,10
		REÎNCĂRCARE				
12:25	12:25	100 kPa	51	57	68	5,87
	12:30		51	58	68	5,90
	12:35		52	58	68	5,93
12:35	12:35	200 kPa	60	64	73	6,57
	12:40		61	67	76	6,80
	12:45		61	68	76	6,83
	12:50		61	68	76	6,83
12:50	12:50	300 kPa	71	75	77	7,43
	12:55		75	80	82	7,90
	13:00		76	80	82	7,93
	13:05		76	80	82	7,93

Valorile modulilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 16564,20 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 26470,59 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 1,59$.

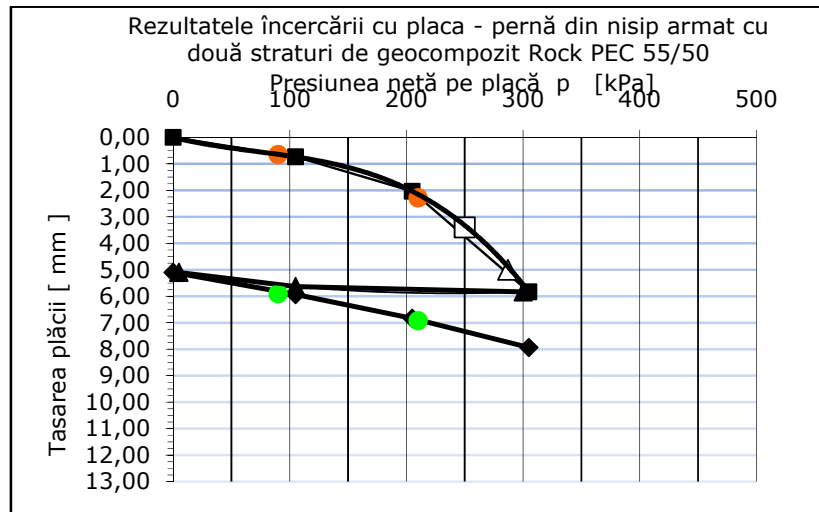


Fig. 3.27. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geocompozit **Rock PEC 55/50**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 3,40$ mm (\square), iar valoarea capacității portante maxime (pentru tasare egală cu 5 mm) este **287 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 6 - pernă din nisip armată cu două straturi de geotextil țesut **Geolon PP60**

Compactarea nisipului din pernă s-a făcut în trei straturi, cu grosimi egale de 30 cm, intercalând două straturi de armătură din geotextil țesut **Geolon PP60**.

Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna armată, determinate pe probele prelevate, sunt date în tabelul 3.28.

Tabel 3.28.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armată cu două straturi de geotextil țesut Geolon PP60

Proba	Densitatea nisipului din pernă	Umiditatea naturală a nisipului din pernă	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	W_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$W_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,81	7,07	1,82	7,05	1,70	92
2	1,82	7,08				
3	1,82	7,00				

Datele primare privind tasările înregistrate pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.29, iar curba de compresiune – tasare rezultată în urma prelucrării acestora se poate urmări în figura 3.28.

Tabel 3.29.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.6

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s_{med} [mm]
			S ₁	S ₂	S ₃	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
9:40	9:40	100 kPa	10	11	11	1,07
	9:45		11	13	12	1,20
	9:50		11	13	14	1,27
	9:55		11	13	14	1,27
9:55	9:55	200 kPa	19	20	17	1,87
	10:00		19	20	18	1,90
	10:05		22	21	19	2,07
	10:10		22	21	20	2,10
	10:15		22	21	20	2,10
10:15	10:15	300 kPa	50	52	50	5,07
	10:20		50	53	51	5,13
	10:25		51	53	51	5,17
	10:30		51	55	52	5,27
	10:35		54	56	52	5,40
	10:40		54	56	52	5,40
	10:45		54	56	52	5,40
DESCĂRCARE						
10:45	10:45	100 kPa	60	54	50	5,47
	10:50		60	54	50	5,47
	10:55		60	54	50	5,47
0	1	2	3	4	5	6
10:55	10:55	0 kPa	55	52	49	5,20
	11:00		61	51	48	5,33
	11:05		61	51	48	5,33
	11:10		61	51	48	5,33

continuare tabel 3.29

		REÎNCĂRCARE				
11:1 0	11:10	100 kPa	66	56	55	5,90
	11:15		66	56	55	5,90
	11:20		66	56	55	5,90
11:2 0	11:20	200 kPa	73	64	62	6,63
	11:25		72	65	63	6,67
	11:30		75	65	63	6,77
11:3 0	11:30	300 kPa	80	72	73	7,50
	11:35		82	73	74	7,63
	11:40		85	75	76	7,87
	11:45		85	75	76	7,87
	11:50		85	75	76	7,87

Valorile modulilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 20769,23 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 27000 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 1,30$.

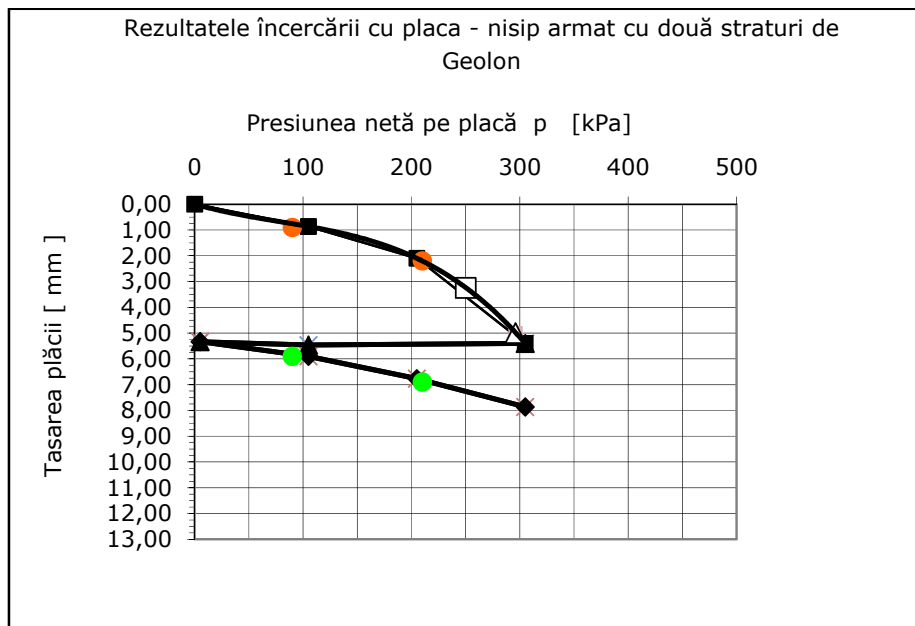


Fig. 3.28. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geotextil țesut **Geolon PP60**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 3,25 \text{ mm}$ (\square), iar valoarea capacității portante maxime (pentru $s=5\text{mm}$) este **298 kPa** (Δ).

ÎNCERCAREA nr. 7 - pernă din nisip armată cu două straturi de geogrilă **Miragrid GX 55/55**

Compactarea nisipului din pernă s-a făcut în trei straturi, cu grosimi egale de 30 cm, iar intercalat s-au dispus două straturi de armături din geogrilă **Miragrid GX 55/55**. Caracteristicile geotehnice ale nisipului din perna dublu armată, sunt date în tabelul 3.30.

Tabel 3.30.

Caracteristici geotehnice ale pernei de nisip armate cu două straturi de geogrilă

Miragrid GX 55/55

Proba	Densitatea nisipului din pernă	Umiditatea naturală a nisipului din pernă	Valoarea medie a densității nisipului	Valoarea medie a umidității naturale	Valoarea densității în stare uscată	Valoarea gradului de compactare
	ρ_w [g/cm ³]	W_i [%]	$\rho_{w,med}$ [g/cm ³]	$W_{i,med}$ [%]	ρ_d [g/cm ³]	D [%]
1	1,80	7,13	1,82	7,23	1,69	92
2	1,82	7,18				
3	1,83	7,32				

Datele primare privind tasările înregistrate pe parcursul încercării se prezintă în tabelul 3.31, iar în urma prelucrării acestora, curba de compresiune – tasare se poate urmări în figura 3.29.

Tabel 3.31.

Tasări înregistrate pe parcursul încercării nr.7

Ora	Timp citire [min]	Presiunea netă pe placă - treapta de încărcare [kPa]	Tasări citite pe fleximetre [mm·10 ⁻¹]			Tasarea medie s_{med} [mm]
			s_1	s_2	s_3	
0	1	2	3	4	5	6
ÎNCĂRCARE						
8:10	8:10	100 kPa	2	0	0	0,07
	8:15		2	0	0	0,07
	8:20		2	0	1	0,10
8:20	8:20	200 kPa	20	8	14	1,40
	8:25		20	8	14	1,40
	8:30		20	8	14	1,40
8:30	8:30	300 kPa	40	21	30	3,03

142 Aspecte teoretice și practice privind folosirea eficientă a materialelor - 3

Continuare tabel 3.31

	8:35		43	22	31	3,20
	8:40		44	23	32	3,30
	8:45		44	24	33	3,37
	8:50		46	24	34	3,47
	8:55		47	25	35	3,57
0	1	2	3	4	5	6
	9:00		47	25	35	3,57
	9:05		47	25	35	3,57
		DESCĂRCARE				
9:05	9:05	100 kPa	44	25	34	3,43
	9:10		44	25	34	3,43
	9:15		44	25	34	3,43
9:15	9:15	0 kPa	32	17	23	2,40
	9:20		32	17	23	2,40
	9:25		32	17	23	2,40
		REÎNCĂRCARE				
9:25	9:25	100 kPa	44	24	31	3,30
	9:30		44	24	32	3,33
	9:35		44	24	32	3,33
	9:40		44	24	32	3,33
9:40	9:40	200 kPa	52	28	39	3,97
	9:45		52	28	39	3,97
	9:50		52	28	39	3,97
9:50	9:50	300 kPa	62	33	46	4,70
	9:55		64	35	47	4,87
	10:00		64	35	48	4,90
	10:05		64	35	48	4,90
	10:10		64	35	48	4,90

Valorile modurilor de deformație liniară sunt $E_{v1} = 18243,24 \text{ kPa}$ și $E_{v2} = 31034,48 \text{ kPa}$ iar raportul $E_{v2}/E_{v1} = 1,70$.

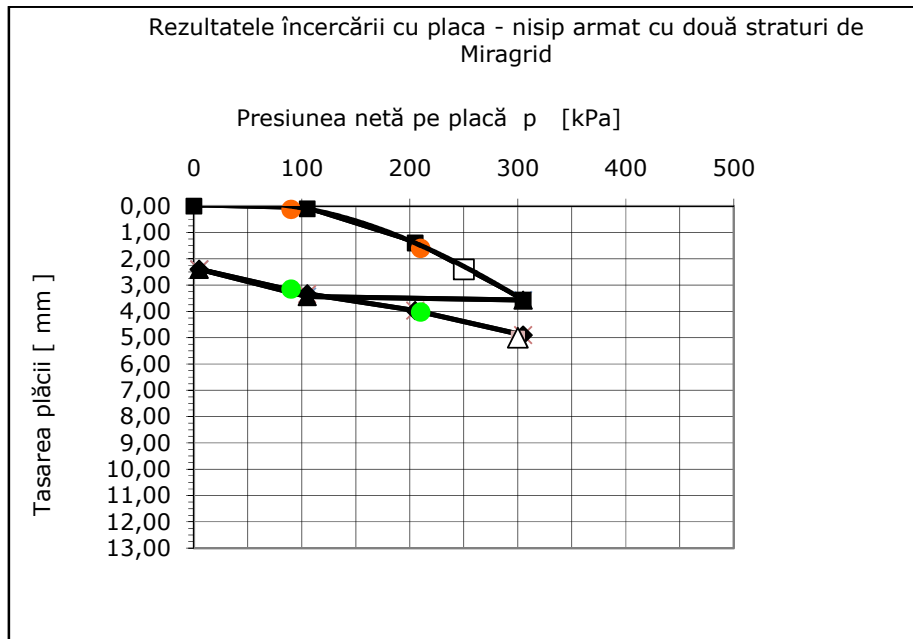


Fig. 3.29. Curba de compresiune – tasare aferentă pernei de nisip armate cu două straturi de geogrilă **Miragrid GX 55/55**

Tasarea corespunzătoare unei valori de referință a presiunii de încărcare considerată de 250 kPa, a rezultat $s = 2,40$ mm (\square), iar valoarea capacității portanță maximă (pentru $s=5$ mm) este **305 kPa** (Δ).

Tabel 3.32.

Rezultate încercărilor experimentale efectuate pe perne din nisip realizate în stand

Nr. încercării, tipul pernei	Caracteristicile geotehnice ale pernelor realizate în stand, din nisip cu $w_{opt}=7,5\%$ și $\rho_{d,max}=1,84 \text{ g/cm}^3$ (conform încercării Proctor)					Tasarea corespunzătoare încărcării de 250 kN/m^2	Reducerea tasării	Capacitatea portantă maximă	Sporul de capacitate portantă obținut prin armare				
	Densitatea după pregătirea probei	Densitatea uscată	Umiditatea probei înainte de începerea încercării	Gradul de compactare	$D=\rho_d/\rho_{d,max}$ [%]					s [mm]	[%]	R_j [kN/m^2]	[%]
1. Pernă din nisip nearmată	1,81	1,69	7,10	92	4,85	-	255	-					
2. Pernă din nisip armată cu un strat Rock PEC 55/50	1,82	1,70	6,87	92	4,5	7,2	270	5,9					
3. Pernă din nisip armată cu un strat Geolon PP60	1,81	1,69	7,11	92	4,3	11,3	277	8,6					
4. Pernă din nisip armată cu un strat Miragrid GX 55/55	1,82	1,69	7,33	92	4,0	17,5	280	9,8					
5. Pernă din nisip armată cu două straturi Rock	1,81	1,70	7,06	92	3,4	29,8	287	12,5					
PEC 55/50													
6. Pernă din nisip armată cu două straturi Geolon PP60	1,82	1,70	7,05	92	3,25	33,0	298	16,9					
7. Pernă din nisip armată cu două straturi Miragrid GX 55/55	1,82	1,69	7,23	92	2,40	50,5	305	19,6					

Notă: Capacitatea portantă maximă s-a considerat egală cu valoarea presiunii de încărcare care produce o tasare de 5 mm [125]

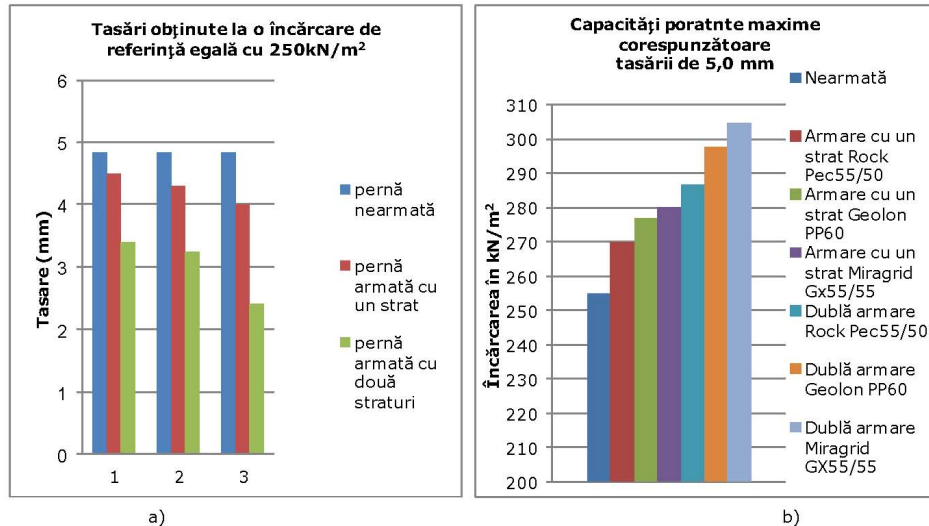


Fig.3.30. Interpretarea grafică a rezultatelor încercărilor experimentale

3.2.4.4. Concluzii

Rezultatele încercărilor experimentale efectuate asupra pernelor de fundare, modelate în stend și armate cu unul sau două straturi de geosintetic, au fost comparate cu cele aferente încercării cu placa pe perna nearmată. În toate variantele, la realizarea pernelor de fundare în stend s-a folosit același material de umplutură, respectiv nisip mare și mijlociu cu rar pietriș, pentru care în prealabil au fost stabilite prin încercarea Proctor, umiditatea optimă de compactare ($w_{opt.}$) și densitatea în stare uscată maximă ($\rho_{dmax.}$).

Prin încercările experimentale efectuate s-a urmărit evidențierea sporului de capacitate portantă și reducerea tasării pernelor, armate cu trei tipuri de materiale geosintetice (**Rock PEC 55/50**, **Geolon PP60** și **Miragrid GX 55/55**), față de cazul pernei nearmate.

Pentru ca sporul de capacitate portantă și reducerea tasării să se datoreze în exclusivitate efectului armării cu geosintetice, pregătirea fiecărei încercări a fost în așa fel făcută, încât umiditatea materialului de umplutură să fie apropiată de umiditatea optimă de compactare, iar gradul de compactare realizat să fie același la toate încercările ($D = 92\%$).

Mărimile tasărilor comparate corespund aceleași valori de referință a presiunii de încărcare, care s-a luat 250 kN/m^2 la toate încercările. După cum rezultă din datele prezentate în tabelul 3.32 și din reprezentarea grafică din figura 3.30.a, sunt reduceri semnificative a tasărilor, atât față de tasarea de referință a pernei nearmate ($s = 4,85 \text{ mm}$), cât și diferențe între cele corespunzătoare armării cu un strat și cu două straturi de geosintetic. Astfel, la armarea cu un strat de

geosintetic, tasările scad diferențiat în funcție de tipul geosinteticului cu 7,2%...17,5%, față de tasarea corespunzătoare pernei nearmate, iar la armarea cu două straturi de geosintetic, reducerile sunt mult mai mari, fiind de 29,8%...50,5%.

În reprezentarea grafică din figura 3.30.b, precum și în tabelul 3.32, se poate urmări sporul capacităților portante maxime, considerate egale cu presiunile de încărcare care produc o tasare de 5,00 mm. Atât la armarea pernelor cu un singur strat de geosintetic, cât și cu două, sporul de capacitate portantă se diferențiază, de asemenea, în funcție de tipul geosinteticului. În cazul armării cu un strat de geosintetic, sporul de capacitate portantă față de cea a penei nearmate (255 kN/m^2) este de 5,9%...9,8%, iar la armarea cu două straturi de geosintetic, aproximativ se dublează, fiind 12,5%...19,6%.

Faptul că sporul de capacitate portantă a pernelor armate cu un singur strat de geosintetic, indiferent de tipul materialelor geosintetice folosite la încercările experimentale efectuate, este relativ redus, nedepășind 10%, este în concordanță cu recomandarea că, în practica armării pernelor de fundare cu geosintetice să se dispună minim două straturi.

Atât prin prisma mărimii tasării corespunzătoare valorii de referință a presiunii de încărcare de 250 kN/m^2 , cât și a mărimii capacității portante maxime corespunzătoare tasării de 5,00 mm, pentru materialul de umplutură din pernă alcătuit din nisip mare și mijlociu cu rar pietriș, cea mai eficientă s-a dovedit armarea cu două straturi de geogrilă tip **Miragrid GX 55/55**, la care reducerea tasării față de cea a pernei nearmate a fost de **50,5% (2,4 mm față de 4,85 mm)**, iar sporul de capacitate portantă maxima de **19,6% (305 kN/m^2 față de 255 kN/m^2)**. Acest lucru confirmă faptul că în general tipurile de geogrilă sunt astfel concepute, încât acestea au eficiență ridicată la armarea în primul rând a pământurilor necoezive.

3.3. Folosirea materialelor geosintetice la realizarea deponeurilor

3.3.1. Considerații generale asupra necesității și rolului deponeurilor

Un sector aparte de activitate unde sunt implicate majoritatea tipurilor de materiale geosintetice o reprezintă construcția deponeurilor. Odată cu dezvoltarea accelerată a materialelor geosintetice și acoperirea unei palete tot mai largi de utilizare a acestora, în domeniul construcției gropilor de gunoi și a altor construcții asemănătoare, geosinteticele au devenit indispensabile soluționând o multitudine de probleme în mod economic și eficient.

Un depozit este definit ca fiind orice amplasament pentru eliminarea finală a deșeurilor prin depozitare pe sol sau în subteran.

Principalele categorii de deșuri industriale generate în România și nu numai, conform unui studiu efectuat de Universitatea Ecologică din București,

Facultatea de Inginerie Managerială [90], folosind date din anul 1995 până în anul 2000 sunt:

- steril minier;
- cenușă și zgură de termocentrală;
- deșeuri metalurgice;
- nămoluri reziduale;
- deșeuri chimice;
- deșeuri feroase;
- deșeuri din construcții.

Activitățile industriale mari generatoare de deșeuri se desfășoară în:

- industria extractivă;
- producerea energiei;
- metalurgie;
- industria chimică;
- industria de mașini, produse metalice;
- industria alimentară;
- rafinarea țițeiului.

O categorie aparte de deșeuri de producție este reprezentată de deșeurile periculoase. În România, au fost identificate 145 de tipuri de deșeuri periculoase, din totalul de 237 înscrise în Catalogul European de Deșeuri. Cantitatea de deșeuri periculoase a reprezentat:

- în 1995: 1,6% din totalul deșeurilor de producție și 15% dacă se elimină sterilul din minerit;
- în 2000: 1,9% din totalul deșeurilor de producție și 3,7% dacă se elimină sterilul din minerit.

Procentajele de mai sus indică faptul că generarea de deșeuri periculoase a scăzut în ultimi 6 ani cu aproximativ 83%, date susținute și de tabelul 3.33.

Tabel 3.33.

Generarea de deșeuri pe ani în perioada 1995...2000

Anii	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cantități totale de deșeuri de producție generate în milioane tone	5,7	5,02	2,7	2,3	2,2	0,9
Procentajul deșeurilor periculoase din totalul deșeurilor generate [%]	1,6	4,4	1,3	2,7	2,8	1,64
Procentajul deșeurilor periculoase din totalul deșeurilor de producție inclusiv deșeurile de la exploatarea/prepararea minereurilor [%]	1,6	4,7	1,3	2,9	3,1	1,91
Procentajul deșeurilor periculoase din totalul deșeurilor de producție exclusiv deșeurile de la exploatarea/prepararea minereurilor [%]	15	10	6,6	8,3	10	3,7

În anul 2000, municipalitățile au colectat 8,15 milioane tone de deșeuri. Procentual, ponderea deșeurilor urbane în totalul deșeurilor generate în România a crescut în ultimii ani, deoarece cantitățile de deșeuri industriale și agricole au scăzut.

Tabel 3.34.

Evoluția ponderii deșeurilor urbane în perioada 1995 - 2000

Anul	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cantități totale de deșeuri urbane în milioane t	6,84	6,69	5,9	5,4	6,73	8,15
Procentajele deșeurilor urbane din totalul deșeurilor generate (%)	2	6	3	6,5	8,7	14,8

Tabel 3.35.

Compoziția și caracteristicile deșeurilor urbane

Componente	% Procentaje din greutate		
	1975 -1979	2000/2001	Diferențe
Hârtie	6,4	14,2	+7,8
Sticlă	2,6	6,4	+3,8
Plastic	3,3	12,0	+8,7
Metale	2,9	2,8	-0,1
Textile	2,2	4,0	+ 1,8
Alte deșeuri organice	70,4	52,3	-18,1
Alte deșeuri anorganice	12,2	8,3	-3,9

În domeniul legislativ, în ultimi ani au fost adoptate reglementări importante în domeniul gestiunii deșeurilor și anume: reglementari privind regimul deșeurilor și deșeurilor periculoase, gestiunea uleiurilor uzate, gestiunea PCB-urilor (bifenilii policlorurați) și celorlalți compuși desemnați, gestiunea deșeurilor industriale reciclabile, regimul bateriilor și acumulatorilor care conțin substanțe periculoase, depozitarea deșeurilor, incinerarea deșeurilor, gestiunea ambalajelor și deșeurilor de ambalaje, serviciile publice de salubritate a localităților.

Modificarea ecosistemelor globale, datorită consumului și producției, arată cât de important este procesul de regândire a utilizării resurselor naturale de către economie și societate. În acest context, Comisia Europeană pentru Mediu și Dezvoltare a definit un nou model ecopolitic și a creat termenul de *dezvoltare durabilă*. Principiul dezvoltării durabile, conform căruia, continuarea dezvoltării economice pentru satisfacerea necesităților societății de astăzi, nu o riscă pe cea a generațiilor viitoare, sta la baza Legii Mediului din țara noastră. Asigurarea

dezvoltării durabile necesită respectarea reglementărilor legislative bazate pe principii ca: precauții în luarea deciziilor, prevenirea riscurilor ecologice și a producerii daunelor, conservarea biodiversității și a ecosistemelor specifice cadrului biogeografic natural, înlăturarea, cu prioritate, a poluanților care afectează nemijlocit și grav sănătatea oamenilor.

Recuperarea include activitățile de colectare, transport, stocare, selecționare și prelucrare (condiționare) a anumitor deșeuri și/sau componente ai acestora. Deșeul recuperat poate fi reintrodus într-un flux tehnologic prin reciclare internă și/sau reciclare externă.

Reciclarea directă (internă) constă în reintroducerea deșeurilor industriale recuperate în același tip de flux tehnologic care le-a produs.

Reciclarea externă sau reutilizarea este activitatea industrială de reintroducere a deșeurilor recuperate într-un flux tehnologic total diferit de cel care l-a produs.

Deșeul industrial, provenit din industria minerală poate fi descris ca un material solid sau lichid, cu o compoziție complexă, care îl face impropriu pentru utilizarea inițială.

Deșeul are valoare economică nulă sau negativă pentru producător (deținător) la un moment și un loc dat. Pentru a evacua deșeul deținătorul trebuie să plătească. Dacă dimpotrivă, pentru un deșeu rezultat dintr-un proces industrial, se plătește achiziționarea lui de către un utilizator, atunci denumirea corectă este de *materie primă secundară*. Pentru producător, deșeurile destinate recuperării și comercializării devin *subproduse industriale* sau produse secundare.

Deșeurile industriale înglobează substanțe, materiale, produse, reziduuri generate de activitatea industrială a căror eliminare din ciclul productiv se asigură printr-o gestionare adecvată și anume:

- *recuperare (condiționare) și/sau depozitare, în vederea reciclării;*
- *eliminare, prin stabilizare/solidificare (în vederea stocării ca deșeu ultim) sau prin incinerare.*

Deșeul ultim, admisibil în locuri autorizate de stocare, rezultă direct dintr-un proces industrial sau după un tratament de neutralizare (denocivizare) și nu mai poate fi tratat în condițiile tehnico-economice de moment, pentru extragerea părții valorificabile sau pentru reducerea caracterului poluant și/sau periculos. Deșeurile ultime sunt de natură minerală, iar potențialul poluant este dat de conținutul în metale grele sub formă de compuși greu solubili. Sunt foarte puțin reactive, foarte puțin evolutive, foarte puțin solubile. O metodă de gestionare a deșeurilor ultime este solidificarea/stabilizarea în sisteme de întărire hidraulică, cu grad ridicat de impermeabilitate, deosebit de stabile fizico-chimic (practic, inerte) față de substanțele considerate agresive (O₂, CO₂, cloruri, sulfați) dizolvate în apă.

Conform normelor europene se disting cinci clase de deșeuri industriale stocabile (Directiva 1999/31/EC definind diversele tipuri de deșeuri în articolul 6 și Anexa 1):

- *Clasa 1:* deșeurile definite în Anexa nr. I C, I D și I E la Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 78/2000, aprobată cu modificări prin Legea nr. 426/2001, care

îndeplinesc condițiile prevăzute în Anexa nr. 3, incluzând deșeuri rezultate atât din activități de producție cât și din activități casnice, precum și deșeuri industriale periculoase, dar netoxice (ca de exemplu cele de azbest);

- *Clasa 2: deșeurile municipale* - deșeuri menajere și alte deșeuri care, prin natură sau compoziție, sunt similare cu deșeurile menajere și care sunt generate pe raza localităților, deșeuri industriale nepericuloase, netoxice și asimilate;

- *Clasa 3: deșeurile inerte* sunt, conform Anexei 1, „deșeurile care nu suferă nici o transformare semnificativă fizică, chimică sau biologică, nu se dizolvă, nu ard ori nu reacționează în nici un fel fizic sau chimic, nu sunt biodegradabile și nu afectează materialele cu care vin în contact într-un mod care să poată duce la poluarea mediului sau să dăuneze sănătății omului. Levigabilitatea totală și conținutul de poluanți ai deșeurilor, ca și ecotoxicitatea levigatului trebuie să fie ne semnificative și, în special, să nu pericliteze calitatea apei de suprafață și/sau apei subterane”; sunt incluse, în special deșeurile din construcții, construcții rutiere și din demolările clădirilor (din care se exclud materialele inflamabile și putrescibile);

- *Clasa 4: deșeuri toxice*;

- *Clasa 5: deșeuri industriale*, produse în cantități foarte mari, ale căror caracteristici sunt cunoscute și, în general, stabile, nereactive în anumite limite.

Pentru deșeurile care nu prezintă pericol pentru mediu, sunt acceptate următoarele activități:

a) împrăștierea pe sol, în scopul ameliorării calității sau fertilizării, a nămolurilor de la stațiile de epurare orășenești, a nămolurilor de dragare sau a altor tipuri de nămoluri similare;

b) folosirea unor deșeuri inerte la lucrări de reamenajare/restaurare, umplere sau pentru construcții în depozite de deșeuri;

c) depunerea nămolurilor de dragare nepericuloase în lungul apelor din care au fost extrase sau în albia râurilor;

d) depozitarea solului necontaminat sau a deșeurilor inerte rezultate în urma activităților de prospectare și extracție, a tratării și stocării resurselor minerale, precum și a celor din exploatarea carierelor [118].

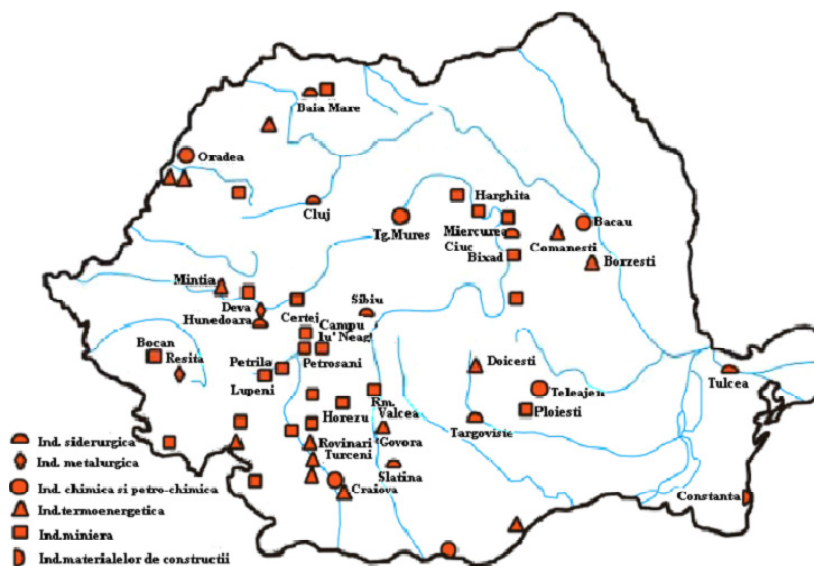


Fig. 3.31. Distribuția geografică a principalelor depozite de deșuri industriale în România, Institutul European din România, Studiu de impact.

3.3.2. Funcțiuni ale geosinteticelor folosite la realizarea deponeurilor

Dacă avem în vedere gradul ridicat al agresivității chimice ale unor deșuri sau potențialul poluator al altora, de pe o parte, și rolurile funcționale necesare a fi îndeplinite de elementele componente ale depozitelor ecologice, pe de altă parte, se poate ajunge la concluzia că materialele necesare realizării construcției acestora trebuie să aibă rezistențe și caracteristici specifice, sensibil diferite de cele destinate altor tipuri de construcții (civile, industriale, hidrotehnice, hidroedilitare etc.). Elasticitatea, etanșeitatea, rezistența la tasări diferențiate, la agresivitate chimică și biologică, masă și volum redus etc. sunt caracteristici evident necesare unei bune comportări în timp a acestor construcții și concomitent pentru protejarea (nepoluarea) factorilor mediului ambiant. În acest context, materialele care răspund cel mai bine cerințelor menționate sunt materialele geosintetice fabricate din polimeri.

Proprietățile materialelor geosintetice, avantajele pe care acestea le au prin comparație cu materialele clasice, le-au dat o largă aplicabilitate în lucrări de construcții în general și mai ales la realizarea deponeurilor, datorită paletei largi de funcții exercitate într-o astfel de construcție.

Principalele avantaje ale geosinteticelor folosite în aceste situații, față de materialele clasice (materialele granulare, betonul, fierul beton etc.), sunt următoarele:

- înlocuiesc mari volume și mase de materiale clasice, la performanțe egale;
- aduc importante economii de materiale și energie;
- uniformitatea proprietăților, pe întreaga suprafața a materialului geosintetic;
- reduc impactul lucrărilor de construcții asupra mediului ambiant;
- sunt ușor de pus în operă, cu tehnologii simple, manopere reduse chiar și fără utilaje speciale;
- pot fi puse sub sarcină imediat după instalare.

Materialele geosintetice implicate la construcția completă a unui depozit de deșeuri, îndeplinesc funcțiile arătate în figura 3.32.:

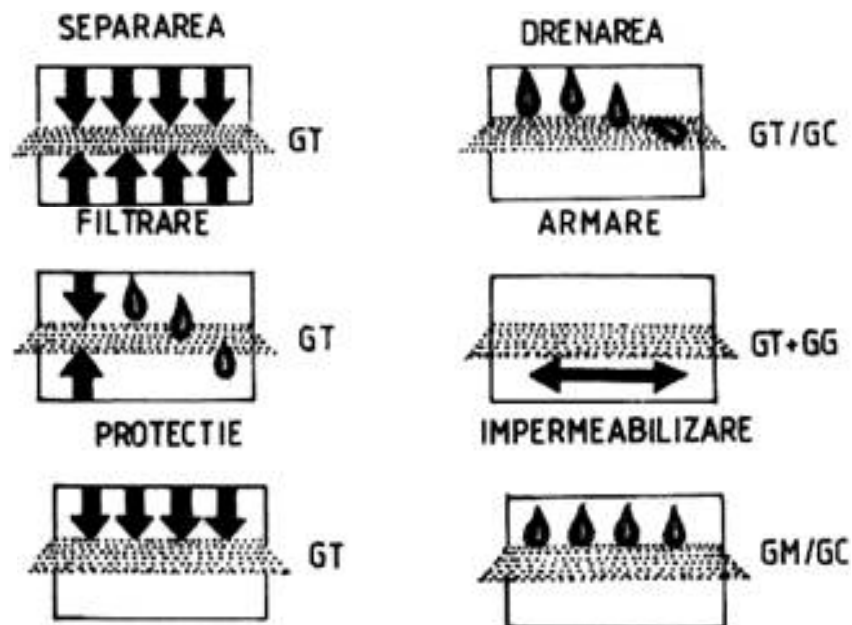


Fig. 3.32. Roluri funcționale ale materialelor geosintetice implicate în construcția depozitelor: GT - geotextile, GG - geogrid, GM - geomembrane, GC - geocompozite

Proiectarea unui depozit de deșeuri se face în funcție de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sunt:

- cantitatea și natura deșeurilor ce urmează a fi depozitate;
- caracteristicile amplasamentului - în raport cu eficiența economică (dimensiuni, durată de funcționare, distanța de transport a deșeurilor) și eficiența ecologică (cerințe legate de protecția factorilor de mediu și a sănătății umane);
- posibilitățile de reabilitare și utilizare ulterioară a terenului, care se evaluează în funcție de natura deșeurilor depozitate, comportarea acestora pe perioada depozitării, planurile de dezvoltare pe termen lung etc.

Depozitul ecologic de deșeuri este o structură geotehnică a cărei proiectare trebuie să asigure izolarea lui față de mediul înconjurător dar și stabilitatea structurală a acestuia. În figura 3.33. sunt prezentate schematic etapele proiectării unui depozit ecologic de deșeuri în care cerințele privind etanșarea depozitului reprezintă problema esențială [126].

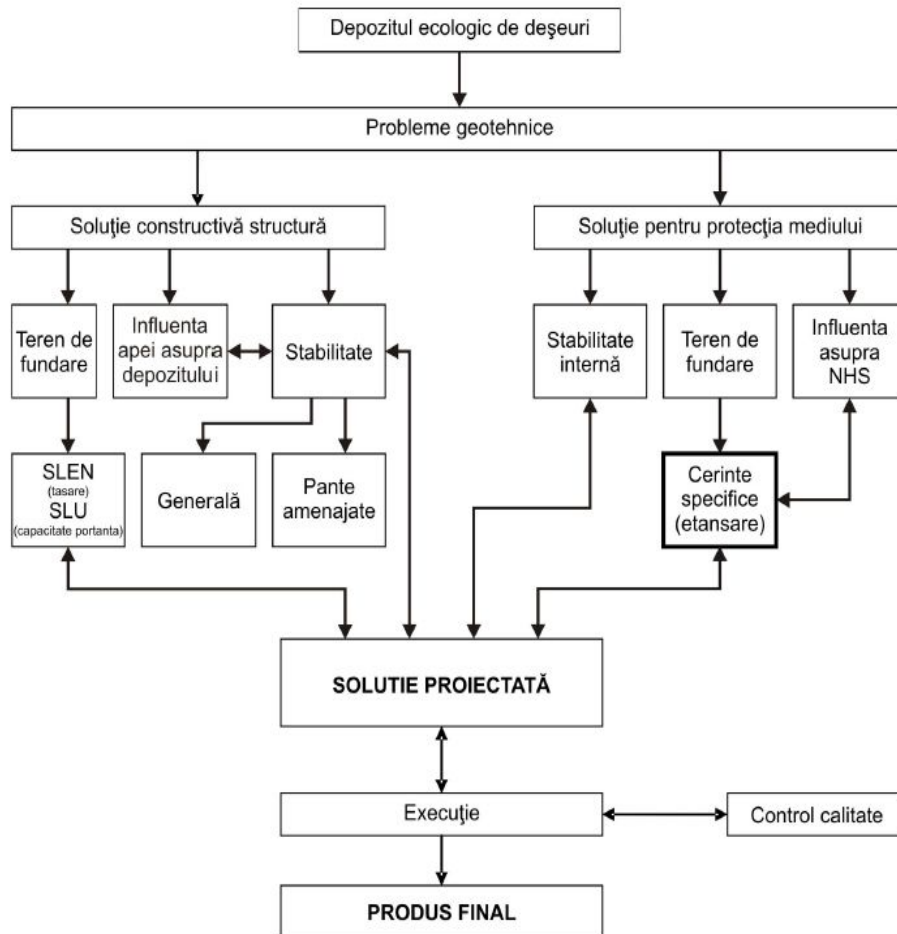


Fig. 3.33. Etapele proiectării unui depozit ecologic de deșeuri

Un depozit de deșeuri trebuie să aibă în componența sa următoarele instalații și echipamente fixe principale:

- poartă de acces, sistem de pază și supraveghere;
- echipament de cântărire și echipament de recepție pentru cantități mici de deșeuri;
- facilități pentru verificarea deșeurilor în laborator;

- drumuri interioare;
- zone pentru depozitarea deșeurilor a căror amenajare cuprinde două operații de bază și anume: impermeabilizarea bazei și a marginii depozitului și realizarea sistemului de drenare și evacuare a levigatului;
- instalații pentru tratarea levigatului, respectiv pentru colectarea și evacuarea gazului de depozit, sisteme de etanșare-drenaj de bază, sisteme de etanșare-drenaj de suprafață;
- garaje, ateliere și spații de parcare pentru utilaje;
- birouri administrative și construcții sociale.

Etanșarea simplă practică în urmă cu câteva decenii, alcătuită dintr-un strat de argilă compactată, a fost înlocuită cu sisteme de etanșare simple sau multiple, complexitatea sistemului fiind condiționată de natura și chimismul deșeurilor depozitate. Într-o succesiune de la suprafață în adâncime prin sistemul de etanșare – drenaj de suprafață, se succed straturi care trebuie să îndeplinească următoarele roluri:

- de redare mediului înconjurător a terenului ocupat de depozitul de deșeuri;
- de drenare a apelor din precipitații;
- de impermeabilizare împotriva infiltrării apelor meteorice și a exfiltrării gazelor din corpul depozitului;
- de drenare a gazelor din corpul depozitului.

În afară de straturile prezentate anterior, în funcție de materialele din care sunt realizate, apar și straturi de protecție, separație sau suport. În ceea ce privește componența sistemului de etanșare de bază, se remarcă, în cazul depozitelor de deșeuri periculoase și nepericuloase, obligativitatea utilizării materialelor geosintetice cu rol de etanșare, respectiv a geomembranei din polietilenă de înaltă densitate. Sub această barieră artificială trebuie să se găsească o barieră minerală naturală sau construită cu o grosime și caracteristici de permeabilitate definite, dar și cu limite privind compoziția granulometrică: bariera naturală va avea conținut de minimum 15% (masă) de minerale argiloase cu $d < 0.002$ mm, în timp ce pentru bariera construită conținutul minim este de 20%. Nivelul apei subterane trebuie să se găsească cu minimum 1 m sub baza sistemului de etanșare. Materialele argiloase utilizate trebuie să îndeplinească condițiile de permeabilitate cerute de Normele Naționale și majoritatea Normelor Internaționale pentru terenul de fundare al unui depozit de deșeuri ($k \leq 10^{-9}$ m/s). În Anexa 2 din STAS 1913/6-76 "Teren de fundare. Determinarea permeabilității în laborator", sunt prezentate valori orientative ale coeficientului de permeabilitate în funcție de natura pământului, valori mai mici de 10^9 m/s putând înregistra, în anumite condiții, argila grasă, argilă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, praful argilos sau chiar loessul sau praful nisipos. Prin compactare se urmărește îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și hidraulice ale pământului, în cazul depozitelor de deșeuri, principala proprietate care se dorește a fi îmbunătățită fiind permeabilitatea. În numeroase lucrări de specialitate s-au raportat reduceri ale coeficientului de permeabilitate, cu unul sau chiar două ordine de mărime, obținându-se valori de ordinul a $10^{-9} \div 10^{-11}$ m/s. [90].

Deseori natura materialelor minerale disponibile în amplasament sau în vecinătatea acestuia nu corespunde tuturor cerințelor din cadrul depozitului și este necesară, fie aducerea de materiale de la distanțe mari, fie îmbunătățirea materialului disponibil prin amestec. În ceea ce privește bariera minerală construită, amestecurile de pământ pot fi:

- pentru reducerea permeabilității, în cazul unor pământuri cu permeabilitate mare, prin adaos de material puțin permeabil (bentonită, argilă grasă);
- pentru îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și reducerea activității în raport cu apa, în cazul pământurilor cu plasticitate foarte mare, prin adaos de material granular sau material stabilizator tip var, ciment, rășini, etc.

Impermeabilizarea depozitelor de deșeuri se face prin alegerea sistemului optim, pentru fiecare caz în parte, ținând seama de o serie de factori, printre care cei mai importanți sunt:

- natura deșeurilor ce urmează a fi depozitate;
- condițiile hidrogeologice și natura suprafeței amplasamentului;
- solicitările ce pot apărea în timpul exploatarei;
- natura și caracteristicile materialului utilizat.

Sistemul de impermeabilizare trebuie să asigure atât etanșeitatea întregului depozit cât și:

- stabilitatea chimică și termică față de deșeurile depozitate și față de pământul de dedesubt (inclusiv față de umezeală și activitatea microorganismelor);
- rezistență mecanică la eforturile care apar în timpul construcției și în timpul exploatarei;
- rezistență la fenomenele meteorologice (îngheț, temperaturi ridicate și raze ultraviolete);
- rezistență la îmbătrânire, elasticitate suficientă și rezistență la rupere.

Soluția de impermeabilizare trebuie să țină seama de caracteristicile naturale ale amplasamentului ales, și în mod special de condițiile geologice și hidrogeologice care formează bariera geologică. Se consideră că bariera geologică îndeplinește condițiile necesare pentru impermeabilizare, dacă are următoarele caracteristici:

- grosime $\geq 1\text{m}$, coeficient de permeabilitate (k) $\leq 10^{-7}\text{m/s}$ - pentru depozitele de deșeuri inerte;
- grosime $\geq 1\text{m}$, coeficient de permeabilitate (k) $\leq 10^{-9}\text{ m/s}$ - pentru depozitele de deșeuri nepericuloase;
- grosime $\geq 5\text{m}$, coeficient de permeabilitate (k) $\leq 10^{-9}\text{m/s}$ - pentru depozitele de deșeuri periculoase; [Ministerul Mediului și Gospodării Apelor].

În cazul în care aceste condiții nu sunt îndeplinite în mod natural, bariera geologică va fi completată cu un strat de argilă sau alt material natural cu proprietăți echivalente. Stratul natural de impermeabilizare va fi completat cu un strat polimeric format din geomembrană, geotextile și stratul de drenare, astfel

Încât impermeabilizarea cuvetei depozitului va avea o structură de tipul celei prezentate în figura 3.34.:

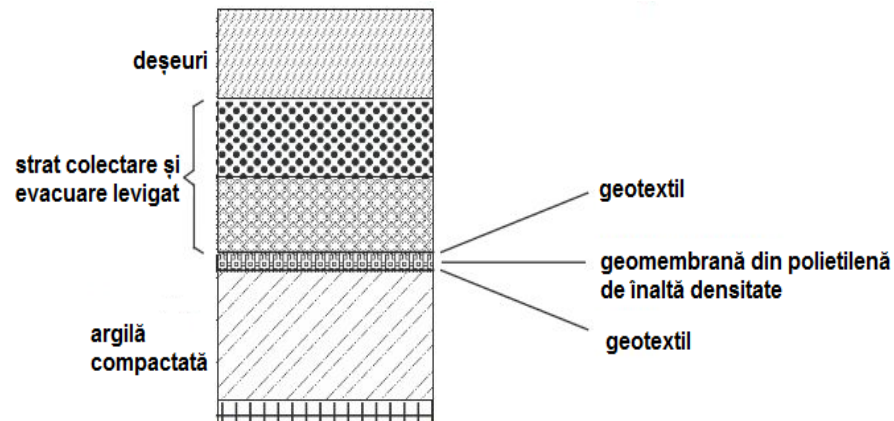


Fig. 3.34. Schema clasică a sistemului de impermeabilizare a unui depozit de deșeuri.

În funcție de natura deșeurilor ce urmează a fi depozitate, implicit de gradul de etanșare dorit, impermeabilizarea se poate realiza prin:

- etanșare simplă prin geomembrană;
- etanșare simplă prin geocompozit cu strat mineral etanș;
- etanșarea combinată cu geomembrană și material argilos;
- etanșare dublă cu geomembrană;
- etanșare combinată, dublă sau triplă, cu geomembrană și material argilos.

La partea superioară a taluzului, geomembrana trebuie să fie ancorată în mod corespunzător conform schemei din figura 3.35., pentru a face față la solicitările mecanice și pentru a împiedica alunecarea acesteia.

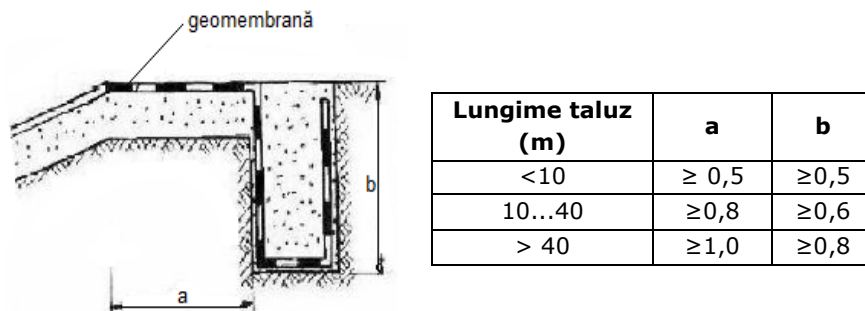


Fig. 3.35. Modul de ancorare a geomembranei la partea superioară a taluzului

Materialele geosintetice (geomembrane și geotextile) utilizate pentru amenajarea depozitelor de deșeuri trebuie să aibă anumite caracteristici de bază prin care să se asigure îndeplinirea anumitor exigențe specifice:

- ▶ **exigențe funcționale** - legate de îndeplinirea funcțiilor pentru care sunt utilizate;
- ▶ **exigențe constructive** - legate de operațiile de construcție și de amplasare în teren, care trebuie să nu afecteze caracteristicile funcționale;
- ▶ **exigențe de durabilitate** - legate de faptul că materialul trebuie să-și păstreze caracteristicile funcționale pe toată durata de exploatare a depozitului.

3.3.3. Tipuri de materiale geosintetice folosite la etanșarea deponeurilor

Dintre materialele geosintetice cu rol de etanșare la ora actuală sunt utilizate trei tipuri: geomembranele, geocompozitele bentonitice și geotextilele impregnate cu asfalt lichid.

3.3.3.1. Geomembrane

Geomembranele au fost primele materiale geosintetice fabricate, cu rol de etanșare și înregistrează cea mai largă dezvoltare și utilizare. Normele naționale și internaționale indică prezența obligatorie a unei geomembrane în componența sistemelor de etanșare de bază și de suprafață a depozitelor de deșeuri.

Geomembranele sunt materiale geosintetice produse sub formă de folii subțiri din polimeri organici sintetici și sunt utilizate exclusiv pentru funcția de etanșare la depozite de deșeuri, rezervoare, lacuri artificiale, canale de irigații, etc. Sunt folosite de peste 60 de ani și la ora actuală, reprezintă un element obligatoriu în sistemele de etanșare ale depozitelor de deșeuri.

În funcție de materialul din care sunt alcătuite, geomembranele sunt fabricate în diverse forme, utilizând o paletă largă de materiale și anume:

→ Geomembrane din polietilenă de înaltă (HDPE), medie (MDPE), joasă (LDPE) și foarte joasă densitate (VLDPE) – geomembranele din polietilenă de înaltă densitate sunt cele mai utilizate datorită proprietăților mecanice, dar și a rezistenței bune la acțiunea agenților chimici, singurul dezavantaj constituindu-l rigiditatea ridicată care implică o instalare dificilă. Realizate din polietilenă de joasă densitate, geomembranele au o flexibilitate mai ridicată și pot reprezenta o alternativă la cele realizate din HDPE la aplicațiile unde rezistența chimică nu este esențială.

→ Geomembrane din polietilenă clorurată (CPE) – sunt produse prin calandrare (trecerea materialului printr-un aparat special, care prin presare la cald subțiază, netezește și aplatizează produsul) în 3-5 straturi, nearmate sau armate cu fibre de poliester sau nylon. Au o rezistență mecanică bună dar prezintă pericolul exfolierii

straturilor componente și, în varianta narmată, prezintă o rezistență mecanică redusă.

→ Geomembrane din polietilenă sulfoclorurată (CSPE) – polimerul utilizat la producerea acestor geomembrane poartă și denumirea de Hypalon® care este marca înregistrată a DuPont Dow Elastomers. Datorita rezistenței mecanice reduse a polimerului utilizat sunt în general armate cu un strat de geotextil introdus între două straturi de neopren, una din variante fiind prezentată în figura 3.36.

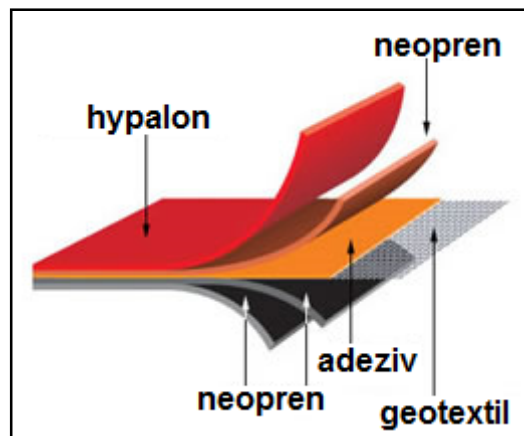


Fig. 3.36. Geomembrană tip Hypalon®

→ Geomembrane din policlorură de vinil (PVC) – au fost primele geomembrane utilizate la etanșarea unor bazine de înot. Au o comportare bună la solicitări mecanice, dar slabă la factori climatici. Sunt produse într-o gamă foarte variată de grosimi și culori având o largă utilizare la lucrări de natură ornamentală care nu necesită rezistență ridicată în timp.

→ Geomembrane din polipropilenă (PP) și polipropilenă flexibilă (FPP sau Astryl) – sunt produse în ambele variante, narmate sau armate. Cele produse din polipropilenă flexibilă au o comportare mecanică bună și flexibilitate superioară polietilenei.

→ Geomembrane din copolimer etilenă-acetat de vinil armată (EVA) – au cea mai mare flexibilitate dintre geomembranele din poliolefine (Poliolefinele sunt produse prin polimerizarea hidrocarburilor alifactice nesaturate și formează grupa celor mai importante mase plastice, iar dintre poliolefine, în ceea ce privește cantitatea produsă, polietilena și polipropilena dețin supremația. sursa - DEX), fiind preferate ca înlocuitor al celor din PVC. Se obțin din etilenă și acetat de vinil în proporție de 9 ÷ 18%, dar pot fi produse și în combinații cu LDPE și VLDPE, pentru a prelua elasticitatea, respectiv, rezistența chimică a ambelor materiale.

→ Geomembrane din aliaj de interpolimer etilenă (EIA) – sunt mult mai cunoscute prin mărcile înregistrate Coolguard™ și XR-5®. EIA este un aliaj de PVC și KEE (Ketone Ethylene Ester, cunoscut și sub denumirea de Elvaloy®), care este un plastifiant polimeric. XR-5® este o geomembrană de ultimă oră a cărei compoziție și

tratament chimic au fost elaborate de DuPont Dacron Polyester, compatibilă cu o gamă largă de poluanți. CoolgardTM este marcă înregistrată a companiei Cooley Group și are ca element de bază tot terpolimerul Elvaloy®. Producătorii de astfel de materiale geosintetice specifică faptul că nu toate tehnologiile Elvaloy® oferă același produs finit și nu toate aliajele de interpolimer etilenă (EIA) sunt obținute în mod similar. Toate geomembranele din EIA sunt produse armate.



Fig. 3.37. Etanșarea unui depozit de deșeuri cu R5, CoolgardTM

→ Geomembrane din etilenă - propilenă - dienă terpolimer (EPDM) – au o comportare bună la factori climatici, flexibilitate ridicată, dar rezistențe chimice modeste. Sunt frecvent utilizate la etanșarea de suprafață a depozitelor de deșeuri datorită posibilității de preluare a tasărilor diferențiate.

Pentru o conlucrare eficientă între geomembrană și materialele cu care intră aceasta în contact, geomembranele se produc cu suprafața netedă (sau lisă) și texturată (sau rugoasă) pe o față sau pe ambele fețe (Fig. 3.38.) în așa fel încât eficiența utilizării acestor materiale să fie exploatată la maxim.

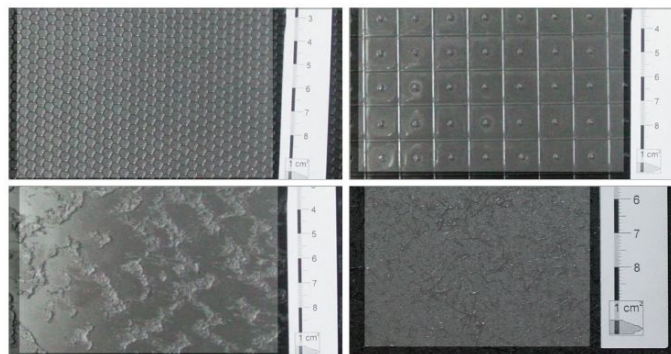


Fig. 3.38. Tipuri de texturi pentru geomembrane

Acest aspect are implicații majore în stabilitatea materialelor utilizate pe suprafețe înclinate (cum sunt majoritatea cazurilor), stabilitate asigurată de

rugozitatea geomembranelor prin aderență. Geomembranele din HDPE, MDPE, LDPE, VLDPE și PP sunt produse prin extrudarea masei plastice printr-o filieră plană sau circulară în timp ce restul celor prezentate mai sus, se realizează prin calandrare în mai multe straturi. Pentru a avea o bună comportare în timp, la realizarea geomembranelor, pe lângă polimerul utilizat, care reprezintă elementul de bază, se adaugă diverși aditivi printre care se numără, negru de fum, a cărui proporție s-a determinat ca fiind suficientă în jurul valorii de 2÷3%, sau stabilizator împotriva razelor ultraviolete.

Principala prioritate a geomembranelor, adică etanșeitatea absolută, le recomandă ca eficient utilizabile pentru lucrările de etanșare - izolare. Între acestea, radierele și acoperișurile depozitelor de deșeuri industriale și menajere, se detașează prin marile lor suprafețe de dezvoltare. Cum lățimea maximă de producție a foliilor de geomembrane este de 10 m, se pune problema îmbinării acestora și evident asigurarea etanșeității în aceste zone. Îmbinarea foliilor se poate realiza prin:

- simpla **suprapunere**, metoda care pentru asigurarea unei minime etanșeități conduce la consumuri nejustificate de material;
- **coasere locală**, metodă ce elimină dezavantajul metodei anterioare și în plus conferă continuitate mecanică; este totuși necorespunzătoare, căci nu asigură gradul de etanșare cerut și necesită timp îndelungat de realizare, dar este o variantă utilizată acolo unde suprafețele sunt mici sau nu există aparate de sudură la fața locului și nu se cere o etanșare perfectă;
- **lipire** cu adezivi, oferă continuitatea și etanșeitate, dar prezintă dezavantajul riscului dezlipirii în timp sau al dizolvării, deci se aplică acolo unde se cunoaște reacția produsului depozitat față de liantul de lipire și unde suprafețele nu sunt extrem de mari;
- **sudare** prin procedee termice (încălzire), care deși mai scumpă exclude toate dezavantajele metodelor anterioare; în plus oferă avantajul siguranței etanșeității continue și al unei productivități de realizare mult ridicată, productivitate asigurată de utilaje (dispozitive) performante din punct de vedere tehnologic; sudarea are două variante de realizare și anume cea prin **sudare simplă**, schițată în Fig. 3.39.a.) și varianta de **sudare plus extrudare**, Fig. 3.39.b.).

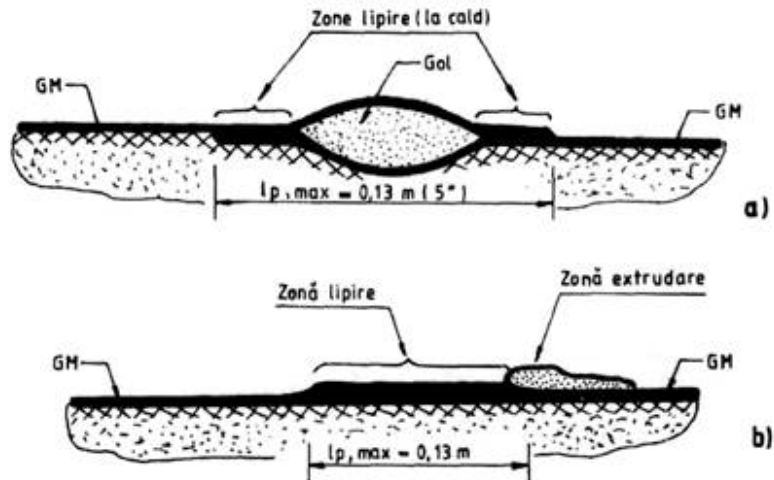


Fig. 3.39. Soluții de îmbinare etanșă

Etanșările din materiale sintetice sunt cel mai des construite cu geomembrane din polietilenă de înaltă densitate (PEHD), de grosime mai mare sau egală cu 2,5 mm pentru depozitele de clasa a, respectiv 2,0 mm pentru depozitele de clasa b. Caracteristicile fizice, mecanice, hidraulice și de durabilitate a geomembranelor se determină în conformitate cu prevederile "Normativului pentru utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții" indicativ, NP 075-02. Caracteristicile impuse pentru utilizarea geomembranelor la depozitele de deșeuri trebuie să fie în conformitate cu SR EN 13257:2001. Cerințele privind proprietățile fizice ale geomembranelor, sunt menționate în tabelul 3.36.:

Tabel 3.36.

Proprietățile fizice ale geomembranelor

Proprietatea fizică	Metoda de determinare	Valori admise minime
Grosimea (mm)	SR EN 964-1:1999 SR EN ISO 9863-2:1996 prEN 1849-2	2,5 mm (clasa a) 2,0 mm (clasa b)
Densitatea (kg/dm ³)	STAS 5886-68 ISO R 1183 prEN 1849-2	0,95 kg/m ³
Masa pe unitatea de suprafață (g/m ²)	STAS 5886-68 prEN 1849-2	2500 g/m ²

Cerințele privind rezistențele mecanice ale geomembranelor se referă la:

- rezistența la întindere determinată prin solicitare la întindere monoaxială pe eșantioane de formă în dublu T de lățime constantă sau în condiții de solicitare tridimensională.

În tabelul 3.37. sunt date câteva valori orientative ale rezistenței la întindere a geomembranelor din PEHD.

Tabelul 3.37.

Valori orientative ale rezistenței la întindere

Teste Deformații	U.M.	Testul dublu T	Testul cu lățime constantă		Testul tridimensional
		l = 6,3 mm	l = 25 mm	l = 200 mm	φ = 610mm
Efortul maxim la cedare	MPa	22	21	19	16
Deformația maximă	%	11	13	15	47
Efortul ultim	MPa	28	24	21	16
Deformația ultimă	%	700	600	> 500	47

Determinarea rezistenței la întindere se face în conformitate cu ISO R 527.

- rezistența la impact (șoc)

Geomembranele sunt foarte sensibile la degradare ca urmare a acțiunilor mecanice cum ar fi căderea unor obiecte grele.

Rezistența la impact se determină prin metoda Spencer, care constă în căderea pe o mostră de geomembrană a unui pendul prevăzut la un capăt cu un con, măsurându-se energia la care se produce penetrarea. În tabelul 3.38. sunt prezentate valori orientative ale rezistențelor la impact ale unei geomembrane PEHD de grosime egală cu 1 mm, în conformitate cu prevederile standardelor în vigoare.

Tabel 3.38.

Valori orientative ale rezistențelor la impact

Unghiul conului (°)	15	30	45	60	90
Rezistența la impact (Joule)	7,6	9,3	11,2	11,2	8,7

- rezistența la poansonare statică

Pentru determinarea rezistenței la poansonare statică a geomembranelor se utilizează o mostră circulară fixată pe un inel, care este solicitată static la compresiune înregistrându-se forța la care se produce ruperea, la o temperatură ambientală de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Determinarea se efectuează în conformitate cu EN 12730:2001. Pentru geomembrane groase, forța la care se produce ruperea este de cca. 2200 N.

- unghiul de frecare la interfața dintre geomembranele netede PEHD și alte materiale

Rezistența la forfecare exprimată prin unghiul de frecare la interfața dintre geomembranele PEHD și diverse materiale este exemplificată în tabelul 3.39.:

Tabelul 3.39.

Unghiul de frecare la interfața dintre geomembranele și diverse materiale

Materialul cu care geomembrana vine în contact	Unghiul de frecare
Nisip grosier ($\phi = 30^\circ$)	18°
Nisip mare și mijlociu ($\phi = 26^\circ$)	17°
Geotextil neșesut împâslit	8°
Geotextil neșesut termosudat	11°
Geotextil neșesut monofilament	6°
Geotextil țesut din benzi	10°

Determinarea unghiului de forfecare se face în conformitate cu prEN 12957-1

- rezistența la sfâșiere

Rezistența la sfâșiere se determină pe probe de formă trapezoidală cu tăietura de inițiere sau pe probe de tip despicate. Valorile rezistențelor la sfâșiere variază între 20 N și 130 N pentru epruvetele trapezoidale confecționate din geomembrane subțiri și respectiv între 90 N și 450 N pentru geomembranele groase testate pe probe despicate. Determinarea rezistenței la sfâșiere se face conform STAS 6127/87, STAS 4030-1/79 și EN 12310-2:2002.

- rezistența îmbinărilor sudate

Testarea rezistenței sudurilor de îmbinare a geomembranelor se face în conformitate cu EN 12316-2:2000 și EN 12317-2:2000 [127].

Stabilitatea și durabilitatea geomembranelor este esențială pentru buna funcționare a unui sistem de depozitare al deșeurilor, impunându-se cerințe stricte asupra rezistenței la degradare dată de diverși factori. Privind rezistența la degradare chimică, geomembranele PEHD se testează prin imersare în diverse substanțe chimice pe o perioadă cuprinsă între 30 și 120 de zile. După această perioadă se repetă testele pentru determinarea caracteristicilor fizice și de rezistență ale geomembranei. Rezistența la degradare sub acțiunea agenților chimici se determină în conformitate cu STAS 6339/80, EN ISO 14030:2001, EN 1847:2001 și EN ISO 175:2000.

Pentru determinarea rezistenței la degradarea termică și prin oxidare (rezistența la îmbătrânire) trebuie luat în calcul faptul că geomembranele sunt sensibile la variațiile mari de temperatură precum și la acțiunea radicalilor de tip hidroperoxid, care trec în structura moleculară a polietilenei. Pentru combaterea acestor efecte se recomandă acoperirea cât mai rapidă a geomembranei puse în operă. Determinarea rezistenței la degradare termică și prin oxidare (îmbătrânire) a

geomembranelor se face în conformitate cu: EN 1107-2:2001, EN 1296:2000, ASTM D 5885-97, ENV ISO 1438:1999, ENV 12224 și prEN ISO 13438.

Degradarea biologică se datorează în principal acțiunii bacteriilor, ciupercilor și animalelor. Geomembranele trebuie protejate împotriva acțiunii factorilor biologici atât în perioada de execuție cât și în perioada de exploatare a depozitului de deșuri.

În componența unui depozit de deșuri sunt de asemenea implicate și *geotextile* cu rol de protejare a conductelor sau geomembrane de separare a anumitor straturi componente din corpul depozitului sau acoperirea acestuia, iar ca și rol secundar intervin la filtrare superficială și ranforsare ușoară. *Geogrițele* intervin la armarea taluzurilor depozitului acolo unde este cazul, iar georețelele sunt cu succes introduse în sistemele de drenare a pereților depozitului de deșuri, în taluzurile exterioare ce urmează să fie plantate cu vegetație atât pentru redarea aspectului natural al lucrării cât și ca protecție împotriva eroziunii de suprafață.

Asupra tuturor materialelor implicate cât și asupra întregului ansamblu de depozitare acționează concomitent sau separat, permanent sau temporar o serie de solicitări după cum sunt ilustrate în figura 3.40.

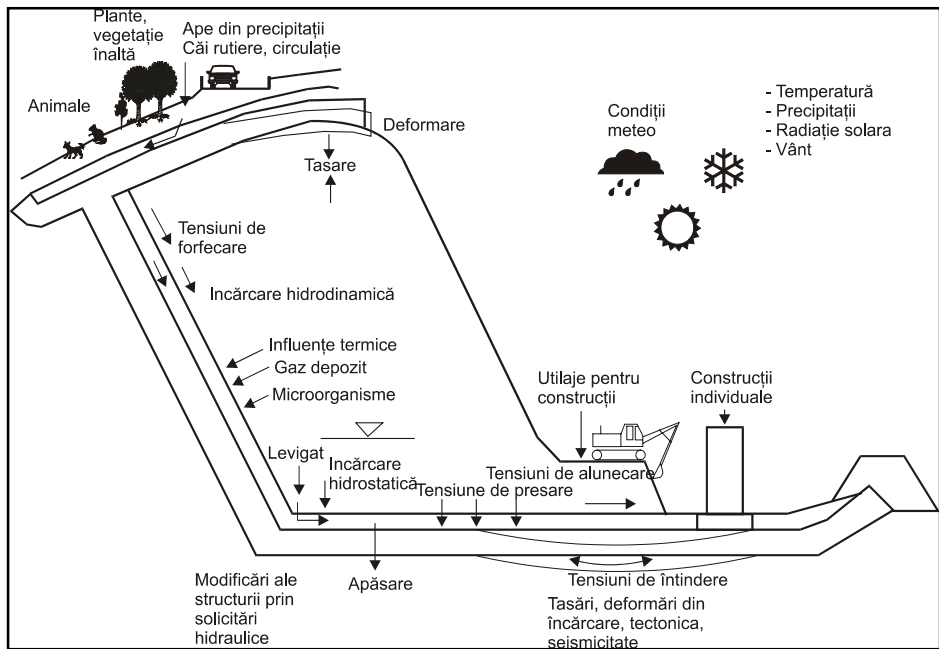


Fig. 3.40. Tipuri de solicitări asupra unui depozit de deșuri, pe întreaga sa durată de viață

3.3.3.2. Geocompozite bentonitice

Geocompozitele bentonitice au o dezvoltare relativ recentă și sunt de obicei utilizate ca o alternativă la bariera minerală naturală, acolo unde terenul de fundare nu este alcătuit dintr-un material care să îndeplinească condițiile impuse de normele naționale sau internaționale privind proprietățile hidraulice și grosimea acestuia.

Geocompozitele bentonitice sunt definite în „Normativul pentru utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții” (NP 075-02) ca produse prefabricate care asociază un material natural, bentonita, cu materialele geosintetice, formând o barieră etanșă și eficientă, printr-un material ușor de pus în operă, omogen și rezistent la poansonare. Funcția de etanșare a geocompozitelor bentonitice este, în cele mai multe cazuri, îndeplinită de bentonită, materialul geosintetic cu care este asociată îndeplinind practic rolul de suport și protecție.

Dezvoltarea relativ recentă a geocompozitelor bentonitice s-a făcut sub semnul aplicării dreptului de producător, aceste produse purtând titulatura de mărci înregistrate. Printre consecințele unei astfel de dezvoltări se află și numărul incomparabil mai mic al acestor produse prezente pe piață în raport cu cel al geotextilelor sau al geomembranelor. Primul produs de etanșare pe bază de bentonită a fost realizat din panouri de carton ondulat în pliurile cărora era introdusă bentonita, în timp ce predecesorul geocompozitelor de azi a fost obținut prin așternerea unui geotextil, presărarea bentonitei și acoperirea cu un al doilea geotextil (Batali, 1999).

La ora actuală se disting o serie de geocompozite bentonitice, cele mai răspândite având o configurație generală prezentată în figura 3.41. Acestea se împart în două categorii, după modul de asociere al bentonitei cu materialele geosintetice:

- bentonita este dispusă între două geotextile, dintre acestea făcând parte printre altele Bentofix®, Claymax®, Bentomat®, Bentoproof®, GBL (Geofelt Bentonite Liner), Na-Bento®.etc.;

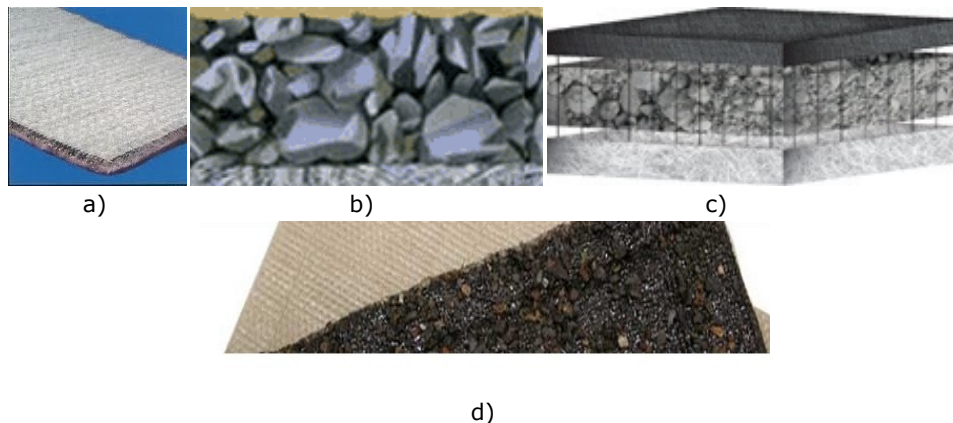


Fig. 3.41. Tipuri de geocompozite bentonitice
a) Bentofix®, b) Claymax®, c) Bentomat®, d) Na-Bento®.

- bentonita este asociată cu o geomembrană; acest tip de geocompozit este cunoscut ca produs al GSE sub numele de Gundseal®, unul asemănător fiind produs de I-CORP International.

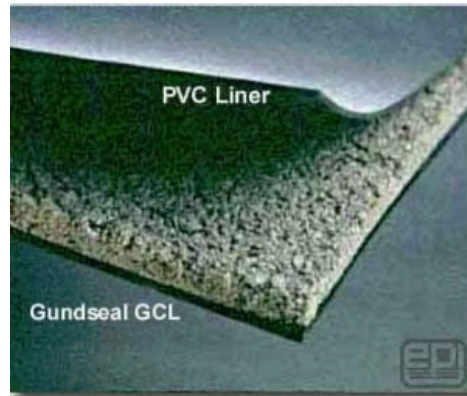


Fig. 3.42. Geocompozit tip Gundseal®

În cazul geocompozitului bentonitic cu configurația geotextil – bentonită – geotextil, funcția de etanșare este îndeplinită de bentonită, rolul geotextilelor fiind de protecție împotriva solicitărilor mecanice, uniformizare și uneori de container pentru bentonită. Atât geotextilul superior cât și cel inferior pot fi țesute sau nețesute, acestea fiind asamblate prin lipire (Figura 3.43.a), interțesere (Figura 3.43.b) sau coasere (Figura 3.43.c). Geocompozitele bentonitice obținute prin asocierea cu o geomembrană (Figura 3.43.d) au stratul de bentonită lipită prin intermediul unui adeziv solubil în apă. În acest mod este păstrată integritatea geomembranei, care perforată și-ar fi pierdut funcția de etanșare. În cazul acestui geocompozit bentonita are rol de barieră hidraulică doar în cazul unei eventuale defecțiuni a geomembranei. Aceasta este din polietilenă de joasă densitate sau înaltă densitate, ultima fiind disponibilă atât în varianta lisă cât și texturată. Există și alte tipuri de geocompozite bentonitice (de apariție recentă) cu o răspândire mai redusă, care sunt obținute prin procese tehnologice de asamblare similare cu cele enumerate anterior. Bentonita presărata în ochiurile unei georețele sudate termic între două geotextile sau în golurile unei geomembrane cu crampe peste care este dispus un geotextil, sunt exemple de geocompozite care asigură o mai bună uniformizare a bentonitei și sub acțiunea unor solicitări normale locale. Bentonita se află sub formă de pudră sau granule, în stare nehidratată sau parțial hidratată și este în general sodică (cationul existent între foițe este sodiu), dar poate fi și calcică (cu cationi de calciu).

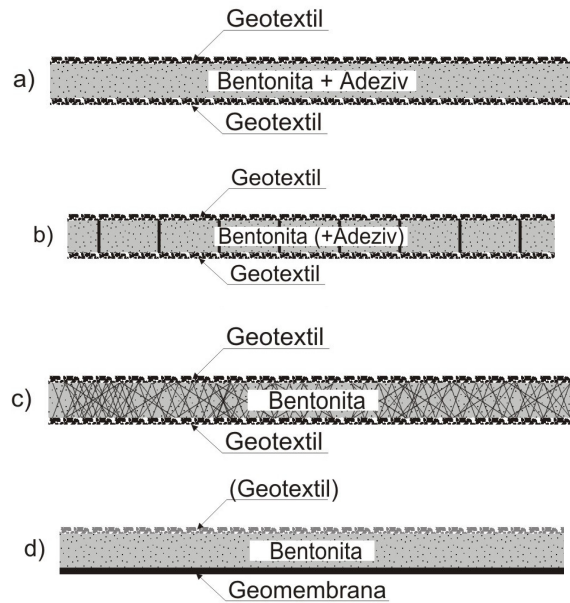


Fig. 3.43. Geocompozite bentonitice

3.3.4. Impermeabilizarea suprafeței deponeurilor

Scopul impermeabilizării suprafeței deponeurilor constă în asigurarea protecției de durată și se realizează ca barieră împotriva:

- formării de mirosuri și praf;
- împrăștierea de către vânt a deșeurilor ușoare (hârtie, plastic);
- pătrunderii apei din precipitații în corpul depozitului;
- scurgerii poluanților în apa subterană;
- migrării gazului în atmosferă;
- apariției incendiilor pe depozite;
- deteriorării stratului de vegetație de la suprafață din cauza gazului de depozit;
- înmulțirii pasărilor și altor animale.

În plus trebuie să se realizeze integrarea zonei depozitului în peisajul înconjurător. Întregul sistem de impermeabilizare trebuie să prezinte o construcție adecvată fiecărei clase de depozit și să prezinte anumite caracteristici.

De asemenea, trebuie să se asigure posibilitatea de a executa controale, reparații și o întreținere ulterioară a unui depozit sau a unei celule timp de 30 de ani după recepția finală a lucrărilor de închidere. În figura 3.44. este prezentat un exemplu de strat de închidere pentru depozite de deșeurile periculoase (clasa a).

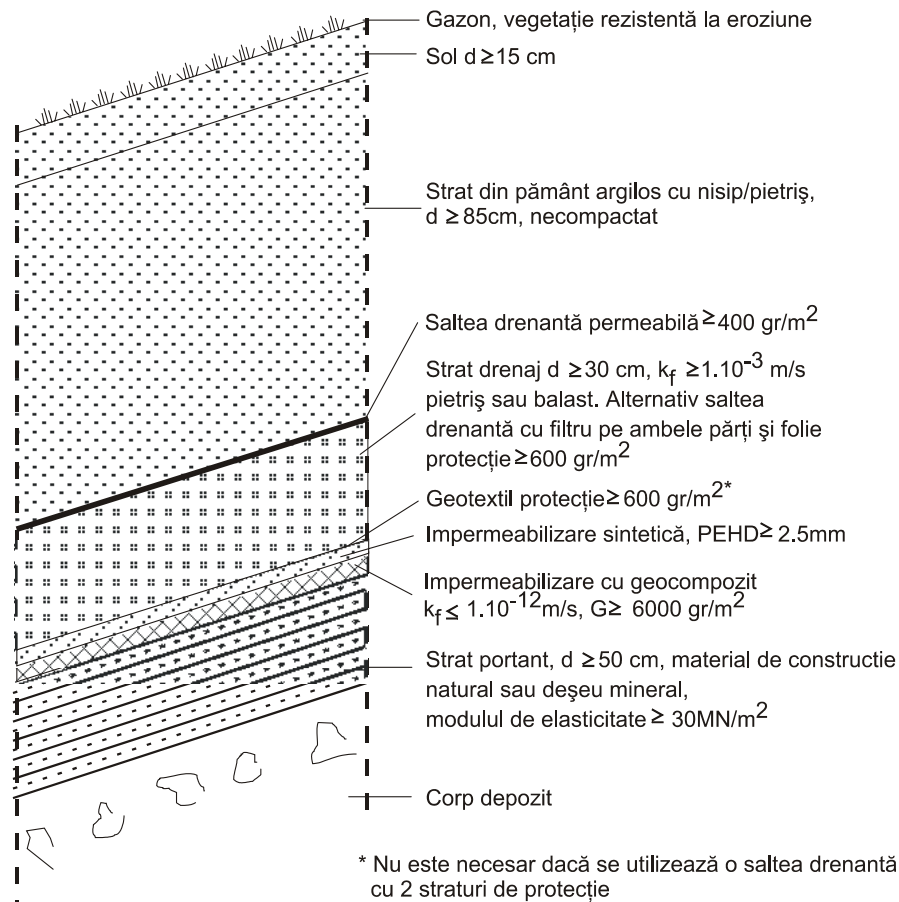


Fig. 3.44. Exemplu de strat de închidere la depozite de deșeuri periculoase

La realizarea straturilor componente ale sistemului de impermeabilizare a suprafeței depunerilor trebuie respectate în principal următoarele cerințe:

1. Stratul de susținere

Pe suprafața nivelată a corpului de deșeuri se aplică un strat de susținere cu o grosime de minim 50 cm. Stratul de susținere preia sarcinile statice și dinamice care apar în timpul și după aplicarea straturilor de închidere. Modulul de elasticitate la suprafața stratului de susținere trebuie să fie de minim 40 MN/m². Gradul de compactare trebuie să fie $> 95\%$. Drept material pentru stratul de susținere se poate utiliza molozul, excavările de pământ, cenușa reziduală, deșeurile minerale adecvate sau materialele naturale. Deșeurile minerale nu trebuie să conțină componente de lemn, plastic, hârtie, materie organică, sticlă sau fier. Mărimea

maximă a granulelor materialului nu trebuie să depășească 0,10 m. Nu se poate utiliza nămol, nisip și materiale coezive. Stratul de susținere trebuie să fie omogen și cu capacitate portantă constantă; suprafața rezultată trebuie să fie netedă și nivelată. Conținutul de deșeuri periculoase din deșeurile utilizate pentru realizarea stratului de susținere nu poate fi mai mare decât cel din deșeurile admise la depozitare.

Se poate renunța la stratul de susținere, dacă stratul de deșeuri nivelat respectă cerințele minime.

2. Stratul de impermeabilizare mineral

Stratul de impermeabilizare minerală a suprafeței trebuie să aibă o grosime minimă de 0,50 m și un coeficient de permeabilitate $< 5 \times 10^{-9}$ m/s. Conținutul de carbonat de calciu trebuie să fie mai mic de 10 % (masă), conținutul de argilă cu diametrul granulelor $< 0,005$ mm trebuie să fie de minim 20 % (masă). Mărimea maximă a granulelor din materialul de impermeabilizare minerală este limitată la 63 mm. Cota de componente organice din materialul argilos este limitată la maxim 5 % (masă), iar componentele lemnoase (rădăcini, crengi etc.) nu sunt permise.

Impermeabilizarea cu material argilos se aplică în două straturi și se compactează cu un compactator cu role. Stratul de etanșare mineral trebuie să aibă toleranță la planeitate de maximum 2 cm / 4,0 m. Gradul de compactare trebuie să fie $\geq 92\%$.

3. Stratul de impermeabilizare artificial

Deasupra stratului de impermeabilizare mineral se aplică o impermeabilizare artificială, constând dintr-o folie PEHD de 2,0 mm.

4. Geotextile ca strat protector pentru geomembrană

Geotextilele utilizate sunt din materiale rezistente pe termen lung, cum ar fi polipropilena (PP) sau polietilenă de înaltă densitate (PEHD), cu masa pe unitatea de suprafață > 600 g/m². Nu este permisă utilizarea materialelor reciclate.

5. Stratul de drenaj pentru apa din precipitații

Stratul de drenaj se realizează cu o grosime minimă de 0,30 m. Valoarea permeabilității trebuie să fie $\geq 1 \times 10^{-3}$ m/s. Conținutul de carbonat de calciu nu trebuie să depășească 10 % (masă). Mărimea granulelor trebuie să fie cuprinsă între 4 mm și 32 mm. Procentul de granule superioare și inferioare nu poate depăși 3 % (masă). Lemnele, metalele, materialele plastice sau alte componente străine nu trebuie să fie conținute în materialul de drenare. Stratul de drenare trebuie să aibă toleranța la planeitate de maximum 2 cm / 4,0 m.

6. Geotextilele ca strat separator

Pentru a evita colmatarea stratului de drenaj prin pătrunderea materialelor solului din stratul de recultivare, se aplică geotextile deasupra stratului de drenaj.

Geotextilele utilizate trebuie să fie confecționate din materiale rezistente pe termen lung, cum ar fi polipropilena (PP) sau polietilena (PE), cu masa pe unitatea de suprafață de minim 400 g/m². Geotextilele trebuie să fie permeabile și să respecte cerințele de calitate conform standardelor în vigoare.

7. Stratul de recultivare

Stratul de recultivare se realizează peste stratul de drenaj și trebuie să aibă o grosime (înălțime totală) de minim 1,00 m. Stratul de recultivare constă din: strat de pământ cu caracteristici de reținere a apei ($d \geq 0,85$ m), strat de sol vegetal ($d \geq 0,15$ m), vegetația plantată. Materialul pentru stratul de reținere a apei constă din material ușor coeziv care împiedică uscarea stratului, asigurând astfel umiditatea necesară pentru rădăcinile plantelor (pătrunderea rădăcinilor în stratul de drenaj este astfel împiedicată). Peste stratul de reținere a apei se aplică stratul de sol vegetal, care este plantat complet și uniform cu gazon.

Nu se plantează tufișuri și copaci, deoarece rădăcinile acestora pot afecta stratul de drenaj. Circulația pe suprafața depozitului, în vederea realizării straturilor, poate avea loc numai cu utilaje cu transmisie pe lanțuri și numai pe căile de circulație construite în acest scop, din moloz sau pietriș. Drumurile utilizate în timpul construcției pot fi utilizate în final drept drumuri de circulație, dacă în proiect este prevăzut astfel.

Imediat după umplerea completă și nivelarea unei celule de depozit, se aplică un sistem de impermeabilizare, care trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- să fie rezistent pe termen lung și etanș față de gazul de depozit;
- să rețină și să asigure scurgerea apei din precipitații;
- să formeze o bază stabilă și rezistentă pentru vegetație;
- să prezinte siguranță împotriva deteriorărilor provocate de eroziuni;
- să fie rezistent la variații mari de temperatură (îngheț, temperaturi ridicate);
- să împiedice înmulțirea animalelor (șoareci, cârtite);
- să fie circulabil;
- să fie ușor de întreținut.

Așezarea ultimului strat al sistemului de impermeabilizare la suprafață se realizează numai atunci când tasările corpului depozitului sunt într-un stadiu la care nu mai pot determina deteriorarea acestui sistem. În perioada principală de tasare se poate realiza o acoperire temporară. Conductele de gaz trebuie să fie confecționate dintr-un material rezistent la îngheț și să fie poziționate sub un strat de pământ cu o grosime cel puțin egală cu adâncimea maximă de îngheț, dar nu mai mică de 80 cm.

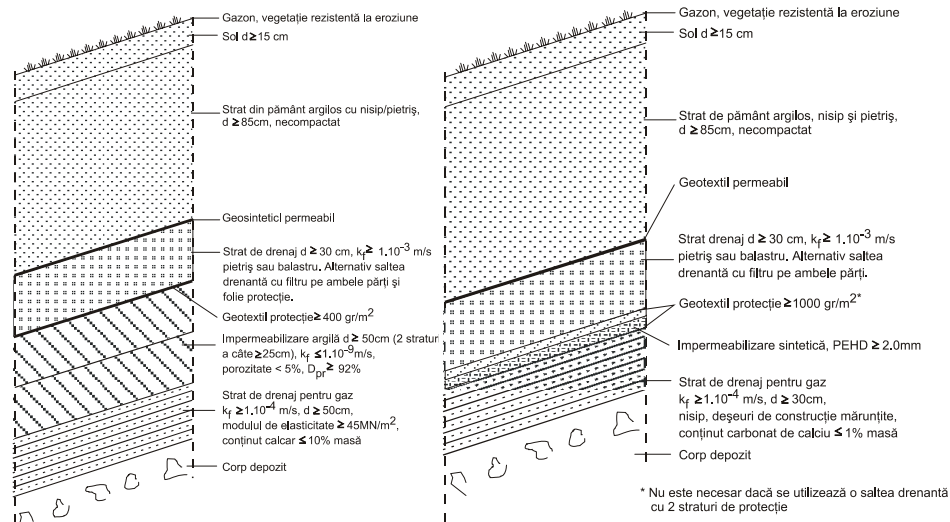


Fig. 3.45. Variante pentru realizarea stratului de închidere pentru depozite de deșeuri nepericuloase

La stratul de drenaj pentru apa din precipitații se aplică un strat separator de geotextil, pentru a împiedica pătrunderea componentelor din stratul de recultivare în stratul de drenaj. Geotextilele utilizate sunt din materiale rezistente pe termen lung, cum ar fi polipropilena (PP) sau polietilena de înaltă densitate (PEHD), cu masa pe unitatea de suprafață $\geq 400 \text{ gr/m}^2$. Geotextilele trebuie să permită pătrunderea apei și să respecte cerințele de calitate conform prevederilor standardelor în vigoare.

Se poate renunța la utilizarea stratului de separare, dacă este probată siguranța la sufoziune (proces de spălare a rocilor de către apele subterane).

Pentru colectarea și evacuarea rapidă a apei din precipitații infiltrată prin stratul de recultivare, este absolut necesară amenajarea unui strat de drenaj. Stratul mineral de drenaj trebuie să aibă o grosime uniformă minimă de 30 cm, pe toată suprafața corpului depozitului. Acest strat de drenaj se aplică direct peste geotextilul de protecție de deasupra stratului de impermeabilizare minerală sau de deasupra stratului sintetic de impermeabilizare (PEHD).

Pe durata construcției trebuie să se țină seama că straturile de impermeabilizare să nu fie deteriorate prin trecerea cu mașini peste ele. Amenajarea se face prin intermediul unor drumuri de acces special amenajate și cu utilaje ușoare, cu șenile. Permeabilitatea stratului mineral de drenaj trebuie să aibă valoarea de cel puțin $1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Materialul pentru stratul de drenaj este alcătuit din pietriș 8 - 32 mm sau criblură. Conținutul de granule $< 8 \text{ mm}$ este limitat la 5 % (masă). Conținutul de carbonat de calciu nu trebuie să fie mai mare de 10% (masă). Panta stratului de drenaj trebuie să fie de cel puțin 5%, panta maximă admisă este de 33%. La o pantă mai mare de 10% trebuie să fie prezentată dovada

stabilității stratului în funcție de caracteristicile efective ale materialelor din care este alcătuit. Nu este permisă instalarea de conducte de colectare a gazului în interiorul stratului de drenaj pentru apa din precipitații. Stratul de drenaj se amenajează până la marginea rigolei perimetrare a sistemului de colectare a apei de la baza depozitului (figura 3.46.). În cazul depozitelor cu suprafață mare, pantă mică și timp lung de scurgere a apei din precipitații, se amenajează conducte de scurgere în stratul de drenaj, pentru ca apa să poată fi evacuată direct în rigola perimetrală. Panta conductelor de scurgere trebuie să fie $> 1,5\%$, după stingerea tasărilor. Între stratul de recultivare și stratul de drenaj trebuie să nu existe pericolul de sufoziune, astfel încât în stratul de drenaj să nu ajungă granule sau particule foarte fine, care să modifice valoarea permeabilității. După caz se aplică un geotextil de filtrare pe stratul de drenaj precum în exemplul prezentat în figura 3.46.

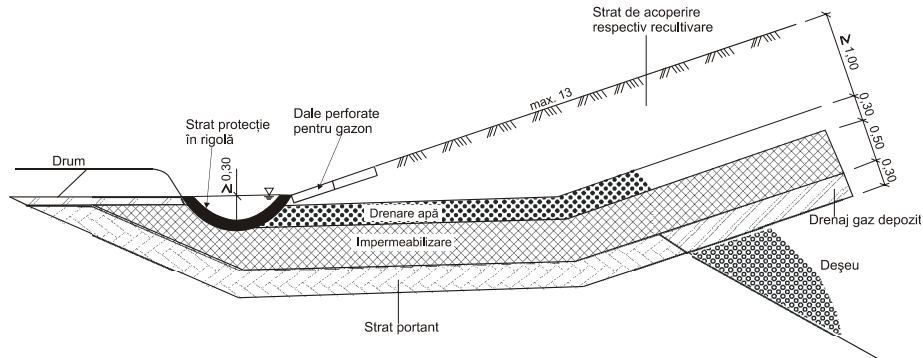


Fig. 3.46. Modul de aplicare a stratului de drenaj pentru apa din precipitații

Alternativ la stratul mineral de drenaj se poate folosi un strat geosintetic de drenaj. Acesta trebuie să fie alcătuit din materiale PEHD și să fie rezistent în timp la presiunea exercitată de stratul de recultivare și de drumurile de acces pe depozit. Geotextilul de filtrare trebuie să fie microbiologic rezistent, conform EN 12225 și corespunzător pentru folosirea în instalații de drenaj, conform EN 13252 [123].

4. PRINCIPII DE ANALIZĂ ȘI CALCUL A STABILITĂȚII TERASAMENTELOR EXECUTATE ÎN RAMBLEU ȘI ARMATE CU MATERIALE GEOSINTETICE

4.1. Generalități

În conformitate cu STAS 2914-84, prin termenul de *terasament* se înțelege totalitatea lucrărilor de pământ executate în scopul realizării unei infrastructuri, alcătuită din pământ sau alte roci dezagregate, inclusiv material artificial de umplură (cenușă de termocentrală, zgură brută de furnal, deșeuri de carieră) având structura, formele și dimensiunile conform standardelor în vigoare.

Terasamentele trebuie să fie stabile, durabile, ușor de întreținut și economice (cu luarea în considerare a costurilor totale de execuție și de întreținere). Aceste caracteristici ale terasamentelor în rambleu se obțin prin:

- asigurarea unei calități corespunzătoare a terenului de suport (de fundare);
- utilizarea materialelor de umplură corespunzătoare;
- compactarea corespunzătoare a pământului în rambleuri;
- evacuarea apelor de suprafață și a celor subterane.

La execuția terasamentelor se disting următoarele categorii de lucrări:

- lucrări pregătitoare;
- lucrări de bază;
- lucrări de finisare.

Înainte de începerea lucrărilor de bază, întotdeauna este necesar să se execute o serie de lucrări, care au ca scop aducerea terenului natural de fundare la starea de a putea prelua încărcările aduse de terasament și după terminarea execuției.

Lucrările de bază cuprind lucrările de execuție propriu-zisă a terasamentelor în rambleu și constau din:

- săparea pământului din debleuri, camere de împrumut sau șanțuri;
- încărcarea, transportul și nivelarea pământului în rambleu;
- compactarea pământului.

Lucrările de terasamente se execută aproape în întregime mecanizat, de aceea se impune ca alegerea utilajelor să se facă pe baza unor studii minuțioase în scopul obținerii unei productivități ridicate. Executarea terasamentelor trebuie să formeze un proces tehnologic unic, realizat cu o serie de utilaje dependente între ele, din punctul de vedere al succesiunii operațiilor și al productivității. În cadrul

fiecărui atelier de utilaje există un utilaj principal, care prin parametrii săi determină alegerea, ca tip și număr, a celorlalte utilaje. Toate utilajele care formează atelierul trebuie să asigure realizarea productivității maxime a utilajului principal, iar gruparea utilajelor trebuie astfel făcută încât:

- operațiile din procesul tehnologic să se desfășoare în lanț, fără timpi morți, respectiv când un utilaj a terminat o operație, utilajul următor trebuie să intre imediat în funcțiune;
- toate utilajele să fie solicitate uniform și caracteristicile lor constructive să fie folosite la maximum;
- la stabilirea productivității fiecărui utilaj să se țină seama de condițiile de lucru.

Lucrările de finisare au drept scop aducerea platformei, taluzurilor rambleului și a dispozitivelor de evacuare a apelor de suprafață într-o stare de funcționare operațională.

Stratul de formă și stratul de repartitie sunt două elemente principale ale terasamentelor destinate căilor de comunicații rutiere și feroviare.

Stratul de formă este definit ca fiind stratul superior al terasamentelor, amenajat pentru uniformizarea și sporirea capacității portante la nivelul patului drumului. În aceasta abordare, rolurile pe care trebuie să le îndeplinească stratul de formă se pot împărți în două grupe, și anume:

- roluri care trebuie îndeplinite la scurt timp după execuție, categorie în care se înscriu următoarele:
 - asigurarea derulării traficului de șantier pentru aprovizionarea cu materialele necesare și executarea primului strat de fundație;
 - realizarea unei uniformități corespunzătoare pentru a permite punerea în opera a stratului superior cu grosimile proiectate și cu respectarea condițiilor de scurgere a apelor subterane de la nivelul patului drumului;
 - asigurarea unei capacități portante uniforme și suficient de ridicate pentru a permite compactarea în bune condiții a primului strat de fundație;
 - asigurarea protecției patului drumului împotriva intemperiilor (ploaie, îngheț, dezgheț etc.) până în momentul executării structurii rutiere.
- roluri care trebuie îndeplinite pe toată durata de exploatare a structurii rutiere:
 - asigurarea unei capacități portante uniforme tot timpul anului, indiferent de condițiile climatice.

Stratul de formă face trecerea de la terasamentele propriu-zise la structura rutieră, constituind legătura dintre două faze de construcție diferite, care se pot succeda imediat sau la intervale mai mari de timp. El nu face parte din structura rutieră ci face parte ca structură și concepție, din terasamente [56].

Introducerea stratului de formă, are urmări favorabile asupra comportării structurii rutiere în exploatare. Pe de altă parte construcția structurii rutiere pe un strat portant, omogen, uniform și puțin influențabil la umiditate va conduce în mod cert la mărirea duratei de exploatare a structurii rutiere.

Grosimea stratului de formă poate fi redusă semnificativ prin introducerea unui material geosintetic cu rol de armare/separare.

Stratul de repartiție la terasamentele de cale ferată se execută în principiu din aceleași considerente ca și stratul de formă la drumuri, unul din rolurile sale principale fiind asigurarea scurgerii apelor de infiltrație de la nivelul superior al terasamentelor.

Ranforsarea terasamentelor executate în rambleu prin înglobarea în corpul lor sub formă de armături, a unor materiale rezistente la întindere, conduce la creșterea în ansamblu a rezistenței și stabilității rambleului. În consecință, ranforsarea prin armare face posibilă reducerea volumului rambleului prin mărirea pantei taluzului acestuia, care implică în cazul drumurilor conduce la micșorarea amprizei acestora.

Ranforsarea prin armarea rambleurilor cu materiale geosintetice (geocompozite și geogridurile) este posibilă datorită conlucrării dintre materialul de umplură din corpul rambleului și geosintetic, prin care forța de întindere din armătura geosintetică (fig. 4.1.) este preluată prin frecare de umplură.

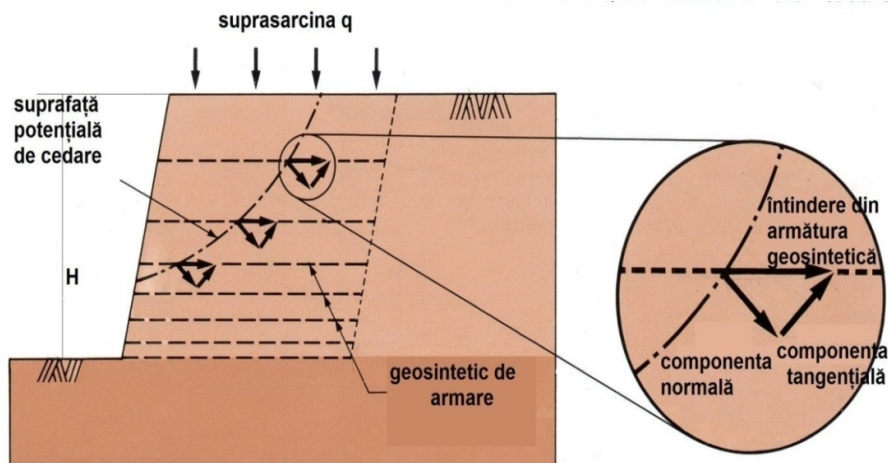


Fig. 4.1. Evidențierea forței de întindere din armăturile geosintetice intersectate de o suprafață potențială de cedare

Geosinteticele utilizate cu rol de armare sunt fabricate din polimeri de înaltă stabilitate și durabilitate prelucrați în așa fel încât să acopere cerințele de rezistență și deformație printr-o maximă aderență cu pământul cu care intră în contact. Pentru terasamente din pământuri coezive sunt folosite ca și geosintetice de armare geocompozitele sau geotextilele țesute, iar pentru lucrări ce includ straturi de pământ necoeziv, armarea se face cu ajutorul geogridurilor. Acestea preiau prin rezistența lor la întindere eforturile pe care pământul nu le poate prelua, la geocompozite prin redistribuirea eforturilor prin textil și conlucrarea geocompozit - teren iar la geogridurile prin împănarea granulelor în ochiurile grilei.

Existența armăturilor din materiale geosintetice în rambleu are următoarele efecte:

- reduce și omogenizează deformațiile, fiind un element de continuitate în complexul pământ - geosintetic;
- sporește rezistența la rupere prin ameliorarea caracteristicilor mecanice ale lucrării fără a reduce suplețea sa, adică posibilitatea de adaptare la deformații mari.

Proiectarea ranforsării rambleurilor constă în alegerea materialului geosintetic de armare, stabilirea lungimii și a modului de dispunere a armăturii pentru asigurarea stabilității acestora pe lângă o pantă impusă pentru taluz. Alegerea geosinteticelor este o problemă complexă și trebuie făcută cu mult discernământ, întrucât o alegere nepotrivită, pe lângă o investiție pierdută, poate conduce la deteriorarea accelerată a lucrării.

4.2. Considerații generale asupra metodelor de calcul a stabilității masivelor de pământ

Elementul principal în dimensionarea taluzului unui masiv de pământ (rambleu sau debleu) îl reprezintă asigurarea stabilității pe tot parcursul exploatării acestuia, indiferent de modificările condițiilor ce pot interveni în timp. Pentru o apreciere cât mai reală a gradului de stabilitate locală sau generală a unui masiv de pământ, este vitală luarea în considerare a tuturor factorilor ce pot avea o influență defavorabilă asupra stabilității acestuia.

În cazul unui masiv de pământ în echilibru, acțiunea factorilor ce tind să provoace pierderea stabilității acestuia în diverse moduri, este compensată de rezistența pământului. Declașarea unui fenomen de instabilitate precum alunecarea, corespunde stării limită a echilibrului, adică situației în care, tensiunea tangențială generată de factorii de instabilitate devine egală cu rezistența la forfecare a pământului din corpul masivului. Gradul de stabilitate al masivului de pământ, respectiv rezerva de rezistență de care dispune acesta se exprimă prin factorul de stabilitate F_s (coeficientul de siguranță al stabilității η_s), definit de factorii care produc instabilitatea și de caracteristicile de rezistență ale pământului [53].

Factorul de stabilitate (coeficientul de siguranță) reprezintă raportul dintre valoarea medie a rezistenței la forfecare reală și valoarea medie a rezistenței la forfecare mobilizată pentru starea de echilibru limită:

$$F_s \eta_s = \min \left[\frac{T_f \text{ real}}{T_f \text{ nec}} \right] \quad (4.1)$$

Valoarea minimă necesară a factorului de stabilitate depinde de posibilitatea exprimării în termeni ingineresti ai factorilor geologici caracteristici unui amplasament precum și gradul de cunoaștere a situației analizate de către proiectant. În cazul informațiilor lacunare asupra factorilor de instabilitate și caracteristicilor de rezistență a unui masiv de pământ sau când estimarea stabilității prezintă o mare importanță socială și economică, se recomandă folosirea unei valori admisibile mai mari pentru factorul de stabilitate. Prin factorul de stabilitate se redă gradul de stabilitate a unui masiv de pământ la un moment dat, ceea ce indică

faptul că în timp pot interveni cauze imprevizibile care pot schimba valoarea acestuia. În general, valoarea minimă admisibilă a factorului de stabilitate prevăzută în diverse norme sau prescripții, calculată în funcție de panta și înălțimea taluzului, unghiul de frecare interioară, coeziunea specifică și greutatea volumică este de 1,25...2,0.

Factorul de stabilitate definit după diverse metode din literatura inginerescă, face referire direct sau indirect la parametrii rezistenței la forfecare, ϕ și c , parametri determinați prin încercări de laborator, în care probele trebuie să urmeze aceleași criterii de efort ca în situ.

Din punct de vedere cronologic, primele metode de calcul a stabilității masivelor de pământ au fost dezvoltate pentru taluzuri executate în roci moi, omogene, iar ulterior, cu diverse completări au fost dezvoltate și folosite metode de calcul și pentru roci moi, stratificate sau roci stâncoase.

Problematika estimării stabilității unui masiv de pământ se pune de regulă sub două aspecte:

- al dimensionării taluzurilor unor lucrări de pământ (baraje, diguri, rambleuri, debleuri, canale), la care se cunosc parametrii fizico-mecanici ai pământului (c , ϕ , ρ) și principalele caracteristici geometrice impuse pe criterii funcționale precum înălțime, adâncime, lățimea coronamentului și se cere să se stabilească pantele taluzurilor (fig. 4.2.) astfel încât acestea să fie stabile;
- al verificării taluzurilor existente în vederea estimării potențialului de stabilitate.

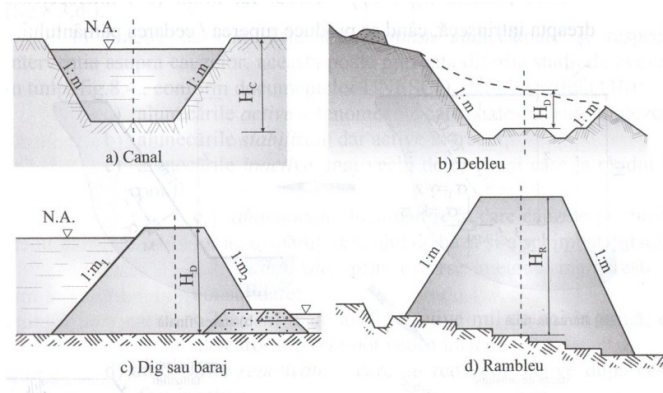


Fig. 4.2. Taluzuri artificiale

În ambele cazuri de dimensionare sau verificare, comportamentul masivului de pământ este estimat prin compararea factorului de stabilitate (coeficientului de siguranță) efectiv al lucrării sau al versantului, estimat prin diferite metode de calcul, cu valoare admisibilă prevăzută în norme pentru tipuri de lucrări sau versanți.

Diversele metode de estimare a stabilității taluzurilor și versanților, grupează calculul acestora în următoarele categorii [108].

- metode care se bazează pe conceptul de echilibru limită, denumite metode statice sau de calcul la rupere;
- metode de estimare a deformațiilor și tensiunilor sau metode hiperstatice.

Metodele bazate pe conceptul de echilibru limită impun suprafața de cedare prin forma directoarei acesteia și calculul coeficientului de siguranță (factorul de stabilitate) prin analiza echilibrului static al masei de pământ ce tinde să se disloce, prin împărțirea acesteia în fâșii elementare și admitând în lungul suprafeței de rupere adoptate criteriul de cedare Mohr-Coulomb.

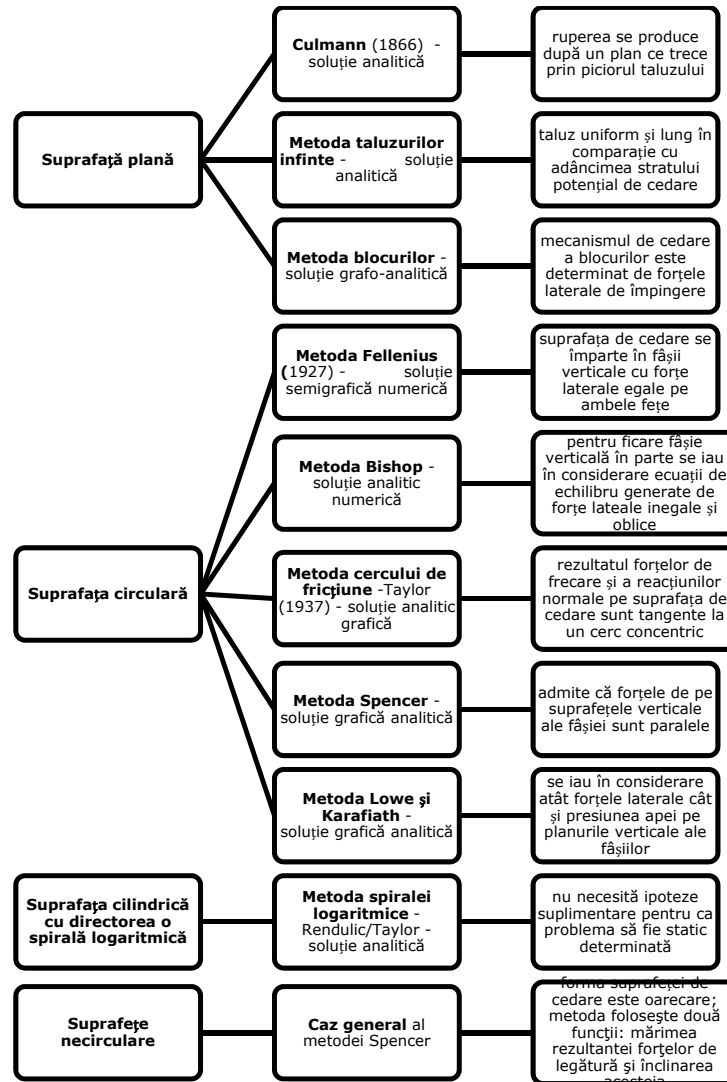


Fig. 4.3. Metode de calcul bazate pe conceptul de echilibru limită

În principal metodele bazate pe conceptul de echilibru limită se diferențiază între ele prin ecuațiile de echilibru satisfăcute, respectiv prin ipotezele simplificatoare acceptate. În figura 4.3. se prezintă schematic principalele metode de verificare prin calcul a stabilității taluzurilor bazate pe conceptul de echilibru limită, cu precizarea formei suprafeței de cedare, a denumirii metodei și a ipotezelor de bază.

Toate metodele bazate pe conceptul de echilibru limită, presupun o suprafață de cedare cunoscută, reală sau potențială. Principalul neajuns al acestor metode, mai ales în cazul verificării stabilității unor taluzuri cu lungime mare, cum sunt versanții naturali, îl constituie considerarea unei valori constante a factorului de stabilitate pe toată suprafața de cedare, egală cu unitate în momentul atingerii limitei echilibrului și producerii cedării [100].

Valorile coeficientului de siguranță a stabilității (a factorului de stabilitate) sunt influențate de o serie de factori (structura geologică a versantului, caracteristicile geotehnice ale pământului din masiv, presiunea apei din pori, starea de tensiuni și deformații din masiv, etc.), care fiind variabili pe suprafața de cedare condiționează variația coeficientului de siguranță.

De asemenea, tensiunea normală σ și tangențială τ pe suprafața de cedare, fiind date de greutatea proprie a masei alunecătoare, au valori mai mici spre extremitățile acesteia și mai mari în zona mediană. Chiar dacă parametrii rezistenței la forfecare pot fi considerați constanți pe toată lungimea suprafeței de cedare, din cauza variației tensiunii normale σ , atât rezistența la forfecare cât și valoarea coeficientului de siguranță, care este dependentă de aceasta, sunt variabile pe suprafața de cedare. În consecință, considerarea unei valori constante a coeficientului de siguranță pe toată suprafața de cedare reprezintă o ipoteză cu grad mare de simplificare, îndeosebi în cazul versanților naturali cu lungime mare.

Se poate menționa că la acest neajuns se adaugă și faptul că metodele bazate pe conceptul de echilibru limită, nu au la bază o fundamentare matematică deosebită, bazându-se mai mult pe aspecte fizice ale fenomenelor de instabilitate a masivelor de pământ. Cu toate aceste neajunsuri, metodele de verificare a stabilității taluzurilor bazate pe conceptul de echilibru limită sunt folosite și dau bune rezultate în majoritatea cazurilor, mai ales la masive de pământ taluzate cu înălțimi obișnuite ca mărime, așa cum sunt în majoritate și terasamentele în rambleu sau debleu.

Metoda elementelor finite are principii similare cu statica matriceală și permite prin intermediul unui program de calcul determinarea tensiunilor și deformațiile masivului studiat, dezvoltarea forțelor de rupere și calculul coeficientului de siguranță mediu în lungul unei suprafețe arbitrare de cedare presupuse. Suprafața de cedare este discretizată în elemente mici îmbinate între ele în noduri, a căror deplasare redau deformațiile în terasament calculat pe baza criteriului Mohr-Coulomb. Metoda Elementelor Finite (M.E.F.), fiind o metodă cu o aplicabilitate generală, a fost dezvoltată și pentru rezolvarea unor aspecte specifice stării de tensiune, respectiv pentru analiza comportării sub încărcări a masivelor de pământ, fiind utilizată pentru:

- calculul tensiunilor, deformațiilor și presiunii apei din pori pentru taluzuri și rambleuri;
- analiza condițiilor din timpul execuției și după terminarea acesteia, când apare consolidarea sau umflarea și când presiunea apei din pori în exces se disipează;
- investigarea probabilității de fisurare, fracturare hidraulică, cedare locală și stabilitatea globală a taluzurilor.

Metoda este atât de generală încât este posibilă modelarea multor condiții complexe cu un grad mare de veridicitate, incluzând în analiză de factori precum comportarea neliniară tensiune-deformație, condiții neomogene și schimbări în geometrie în timpul execuției rambleului sau a săpăturii.

Etapele generale a aplicării metodei elementelor finite sunt:

- schematizarea geometrică a cazului studiat;
- determinarea stării inițiale de tensiune;
- sublinierea condițiilor limită;
- stabilirea legii de comportament a masivului de pământ;
- modelarea matematică a legii de comportament;
- introducerea datelor în programul de calcul;
- rularea calculului și examinarea rezultatelor.

Studiile privind stabilitatea masivelor de pământ sau roci prin utilizarea M.E.F. constau în:

- determinarea deplasărilor, deformațiilor și tensiunilor în cuprinsul masivului, ca mărimi primare sau secundare furnizate de metodă;
- interpretarea rezultatelor în scopul precizării zonelor din masiv aflate în stare de rupere și al coeficientului de siguranță cu aspecte specifice problemei de analiză a stabilității.

Majoritatea aplicațiilor M.E.F. axate pe problema stabilității, se referă la cazul lucrărilor realizate din pământ sau alte materiale locale (baraje, diguri, ramblee) și al celor executate în pământ (excavații practicate în diferite scopuri). Analizele de stabilitate au în vedere următoarele stadii de lucru pentru masivele artificiale sau naturale [29]:

- *stadiul de construcție* pe durata căruia lucrarea este adusă, prin punerea în operă sau excavarea materialului, la geometria dorită;
- *stadiul de acomodare sau adaptare*, pe durata căruia, după atingerea formei finale, are loc disiparea presiunii apei din pori și consolidarea; apărând noi condiții de solicitare (prin umplerea acumulării și dezvoltarea unui regim permanent de curgere a apei prin corpul barajului, spre exemplu);
- *stadiul de lungă durată*, pe parcursul căruia pot interveni variații în timp ale solicitărilor sau proprietăților materialului;
- *stadiul tranzitoriu*, posibil de luat în discuție, pe durata fiecăruia dintre stadiile anterioare, când lucrarea poate fi supusă unor solicitări generate de seisme, explozii, filtrare [96].

Particularitățile legate de schematizarea geometrică și discretizare sunt determinate de alcătuirea constructivă a lucrării și plasarea acesteia pe sau în prezența unor medii geologice „infinite” cu structuri litostatice și grafice complexe. În cazul unor limite finite reprezentate de straturi rigide ce constituie mediul geologic sau care intră în alcătuirea acestuia, discretizarea se extinde până la acesta [30]. Pentru medii geologice reprezentate de straturi deformabile, limitele rețelei de elemente finite sunt extinse astfel încât prin condițiile de contur câmpul mărimilor determinate să nu fie afectat. Figura 4.4.a. redă influența pe care o prezintă extinderea domeniului discretizat asupra dezvoltării zonelor aflate în stare de rupere în cazul unui taluz de debleu [26]. În figura 4.4.b. se rezumă recomandările privind limitele la care se extinde domeniul supus discretizării.

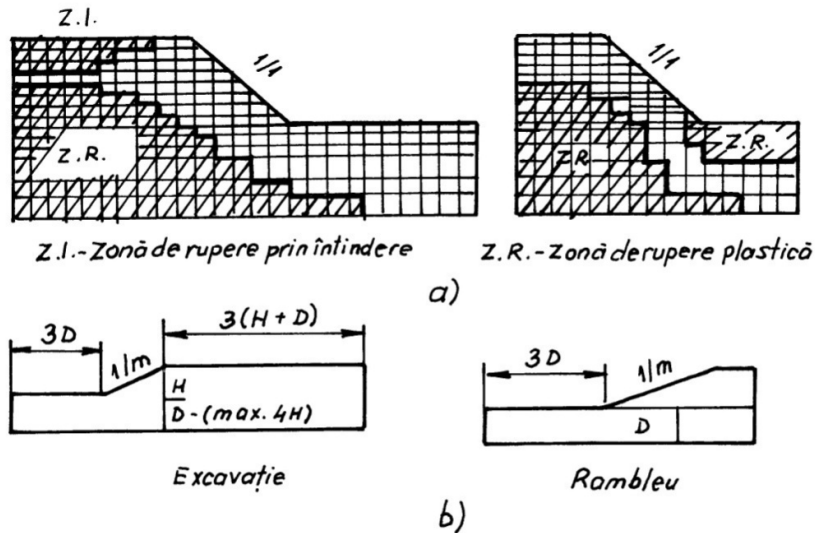


Fig. 4.4. Schemă de discretizare a unui masiv taluzat: a) Influența distanței de plasare a domeniului analizat asupra dezvoltării zonelor de rupere în M.E.F.; b) Limitele orientative ale domeniului ce încadrează taluzurile în M.E.F.

Având tensiunile după două direcții ortogonale precizate de metodă pentru fiecare punct nodal, starea de tensiuni este complet cunoscută. Astfel, pentru o suprafață unitară ce trece printr-un punct N_i și de orientare θ_i (fig. 4.5.) tensiunile normală și tangențială vor fi:

$$\sigma_{\alpha} = (1/2) \cdot (\sigma_x + \sigma_y) - (1/2) \cdot (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \cos 2\theta_i + \tau_{xy} \cdot \sin 2\theta_i \quad (4.2)$$

$$\tau_{\alpha} = -\tau_{xy} \cdot \cos 2\theta_i - (1/2) \cdot (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin 2\theta_i \quad (4.3)$$

Dacă se ia în discuție o anumită suprafață de alunecare, rezistența la forfecare și tensiunile tangențiale pot fi determinate pe întreaga lungime a acesteia. Admițând definiția coeficientului de siguranță ca raportul dintre rezistența la forfecare $\tau_{f\theta}$ și efortul tangențial τ_θ se obțin informații privind condițiile locale de stabilitate. Dacă se are în vedere coeficientul de siguranță mediu definit prin raportul dintre forța de rezistență F_r și cea de alunecare F_a :

$$F_r = \int_{N_1}^{N_k} \tau_{f\theta} \cdot dl = \sum_{i=1}^k (c + \sigma_{\theta i} \cdot \operatorname{tg} \phi) \quad (4.4)$$

$$F_a = \int_{N_1}^{N_k} \tau_{\theta i} \cdot dl = \sum_{i=1}^k \tau_{\theta i} \cdot dl \quad (4.5)$$

Se poate formula o imagine privind condițiile de stabilitate ale masivului după suprafața considerată.

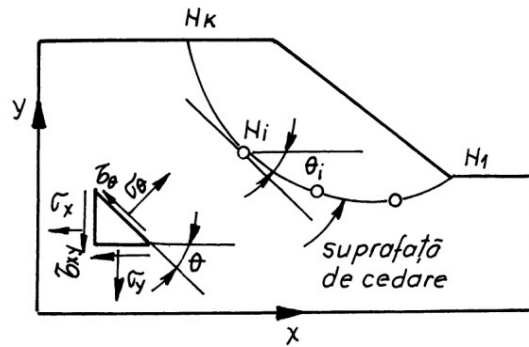


Fig. 4.5. Definirea suprafeței de alunecare în funcție de parametrul λ

Delimitarea zonelor de rupere se face prin considerarea curbelor de egală valoare a parametrului λ [50], definit prin raportul dintre efortul tangențial maxim și rezistența la forfecare disponibilă și care reprezintă inversul gradului de mobilizare.

Aceste aspecte ale prelucrării rezultatelor se pot regăsi încorporate în algoritmul de calcul al programelor cu elemente finite destinate analizelor de stabilitate.

Un alt mod de abordare a problemei verificării stabilității taluzurilor prin M.E.F. o constituie modificarea pe parcursul calculelor, a valorilor parametrilor rezistenței la forfecare, ϕ și c . În calculul de dimensionare a unor elemente de construcții, coeficientul de siguranță este, în mod obișnuit, definit ca fiind raportul dintre încărcarea de rupere și încărcarea de serviciu.

Pentru structurile alcătuite din pământ, această definiție nu poate fi aplicată în mod explicit. Astfel, de exemplu, pentru rambleuri ponderea cea mai mare a

încărcării o reprezintă greutatea proprie, iar o creștere a acesteia nu ar duce automat și la cedarea structurii. Într-adevăr, un taluz alcătuit în totalitate dintr-un pământ necoeziv nu și-ar pierde stabilitatea datorită unei încărcări într-o centrifugă. În aceste condiții, o definiție a coeficientului de siguranță mult mai adecvată este următoarea:

$$F_s = \frac{\text{Rezistența la forfecare disponibilă maximă}}{\text{Rezistența la forfecare pentru menținerea echilibrului la limită}} \quad (4.6)$$

Raportul dintre rezistența la forfecare disponibilă și rezistența la forfecare minimă necesară pentru păstrarea stării de echilibru limită reprezintă coeficientul de siguranță care este utilizat curent în mecanica pământurilor.

Introducând ecuația de definiție a rezistenței la forfecare stabilită de către Coulomb, factorul de stabilitate (coeficientul de siguranță) este dat de relația:

$$F_s = \frac{c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \phi}{c_r + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \phi_r} \quad (4.7)$$

în care: ϕ și c – parametri rezistenței la forfecare;

ϕ_r și c_r – parametri reduși ai rezistenței la forfecare necesari pentru menținerea echilibrului masei de pământ în situația de echilibru limită;

σ_n - efortul unitar normal.

Principiul de calcul descris anterior reprezintă baza calculului prin metoda reducerii parametrilor rezistenței la forfecare a pământurilor, utilizată în calculul echilibrului masivelor de pământ prin M.E.F. Metodologia de calcul presupune reducerea simultană a coeziunii și a tangentei unghiului de frecare interioară în aceeași proporție în cadrul calculului iterativ specific M.E.F, evidențiată în principal prin relația:

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \phi_r} = \sum M_{sf} \quad (4.8)$$

Reducerea simultană a celor doi parametri ai rezistenței la forfecare este controlată cu ajutorul unui multiplicator, $\sum M_{sf}$ (notat astfel în programul de calcul PLAXIS). În timpul calculului, acest multiplicator este modificat crescător în cadrul procedurii de calcul iterativ până când se atinge o condiție de cedare impusă. În aceste condiții, coeficientul de siguranță este definit ca fiind egal cu valoarea multiplicatorului $\sum M_{sf}$ la momentul cedării.

În cazul unei aplicații realizate cu programul de calcul PLAXIS 7.2, în figura 4.6. se reprezintă suprafața cu potențial de alunecare maxim, rezultată în urma unui calcul utilizând principiul reducerii parametrilor rezistenței la forfecare, ϕ și c . În această reprezentare nu este semnificativă valoarea deformațiilor rezultate, ci

variația deplasărilor în momentul producerii cedării, variație cu intensitate maximă la acest moment.

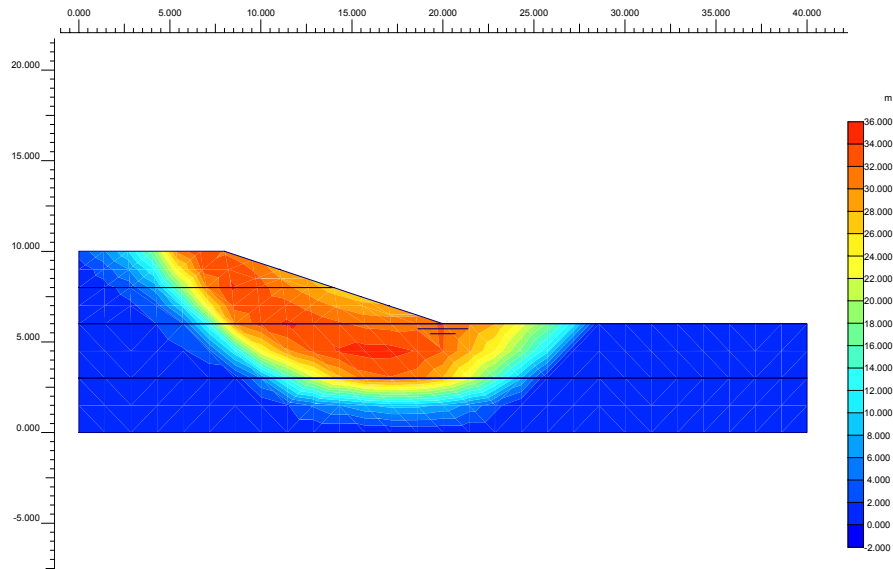


Fig. 4.6. Reprezentarea variației deplasărilor punând în evidență suprafața de alunecare.

4.3. Particularități ale calculului de verificare a stabilității rambleurilor armate cu geosintetice

La terasamente executate în rambleu și armate cu geosintetice, calculul de verificare a stabilității vizează atât stabilitatea externă cât și cea internă.

Mecanismele potențiale de cedare, respectiv de pierdere a stabilității externe (fig. 4.7), sunt aceleași ca și la structurile de sprijini clasice, putând fi:

- pierderea globală a stabilității;
- depășirea presiunilor efective pe teren;
- lunecarea pe talpă;
- răsturnarea.

Se poate menționa că pierderea stabilității prin răsturnare a rambleurilor armate este mai puțin probabilă datorită flexibilității acestora. Analiza acestui mod de pierdere a stabilității și impunerea unei excentricități maxime admise servește la controlul deformațiilor laterale ale terasamentului.

Pierderea stabilității interne a rambleurilor armate cu geosintetice se produce atunci când forțele de întindere din armăturile dispuse la un anumit nivel sau la toate nivelurile, depășesc capacitatea portantă la smulgere a acestora din corpul terasamentului sau capacitatea lor portantă de rezistență la întindere.

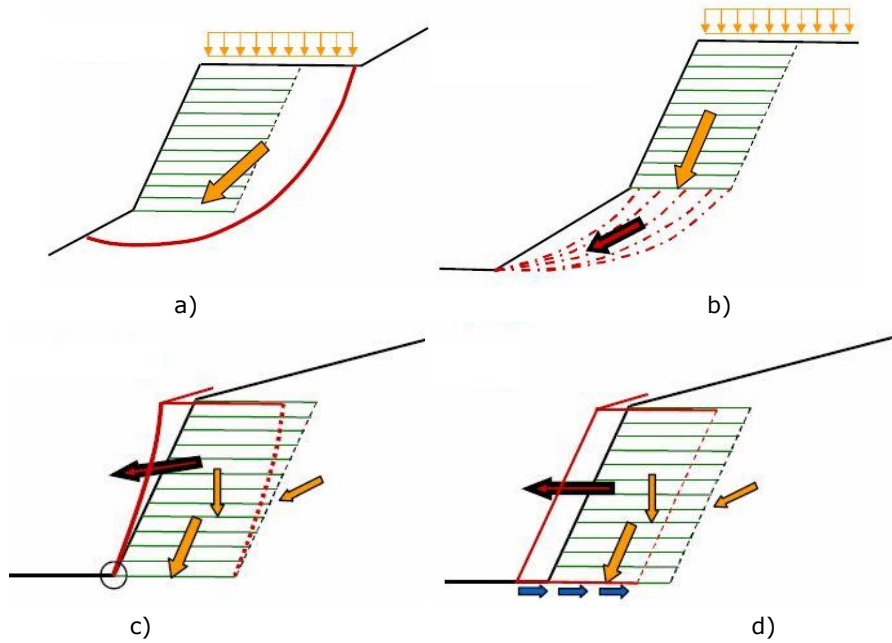


Fig. 4.7. Moduri de pierdere a stabilității externe; a) și b) pierderea stabilității globale; c) prin lunecare; d) prin răsturnare

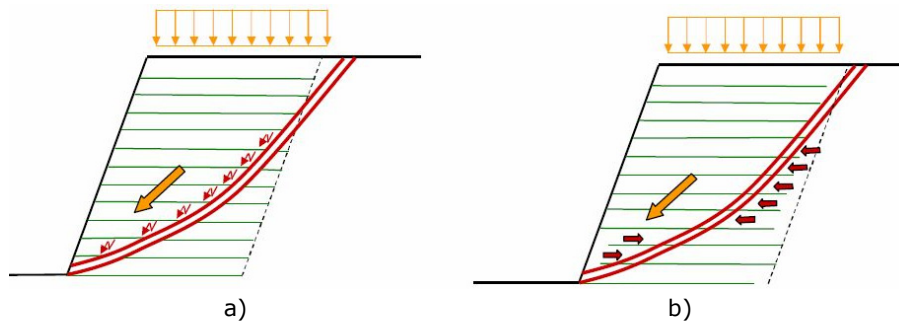


Fig. 4.8. Moduri de pierdere a stabilității interne; a) prin depășirea rezistenței la întindere a armăturilor; b) prin smulgerea armăturilor

Etapele analizei stabilității unui terasament armat cu geosintetice, sunt prezentate schematic în figura 4.9.:

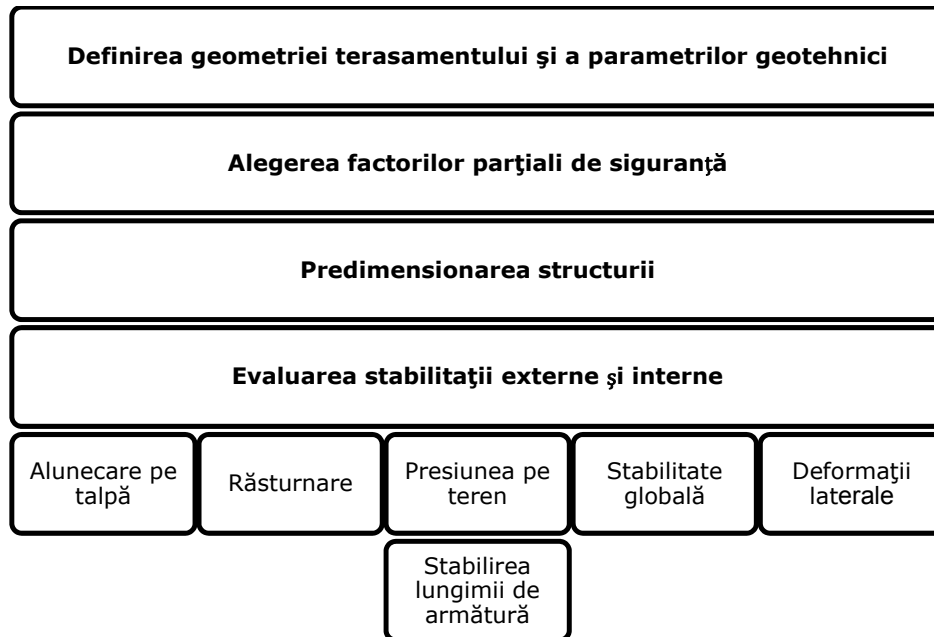


Fig. 4.9. Etapele analizei stabilității unui terasament armat cu geosintetice

Factorii parțiali de siguranță dați de materialul geosintetic intră în calculul rezistenței în timp a materialului $R_{B,k}$, rezistență calculată după următoarea formula:

$$R_{B,k} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (4.9)$$

unde $R_{B,k0}$ este rezistența pe scurtă durată, iar A_i sunt factori de reducere.

Prin rezistența materialului geosintetic se exprimă valoarea rezistenței la întindere $R_{B,d}$:

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k}}{g_M} \quad (4.10)$$

unde g_M este factorul global de siguranță.

Calculul se bazează pe dependența dintre rezistența la întindere și deformație, determinată prin încercarea la întindere pentru fiecare geosintetic în parte. Din valoarea maximă la întindere se extrage rezistența pe scurtă durată $R_{B,k0}$ raportată la 1 m din material. Deoarece această valoare depinde mult de materia primă a geosinteticului și de procedeul de fabricare al acestuia, valorile rezistenței de scurtă durată diferă în funcție de produs și producător, dar estimativ acestea se pot extrage din tabelul 4.1.

Tabel 4.1.

Valori tipice ale rezistenței de scurtă durată a geosinteticeilor

Materia primă	Modelul geosinteticului	Valori tipice ale rezistenței de scurtă durată (kN/m)	Valoarea medie a alungirii la rupere (%)
AR	geogriile țesute	40 - 1200	2 - 4
	geotextile țesute	100 - 1400	2 - 4
PE	geogriile țesute	20 - 150	15 - 20
	geogriile extrudate	40 - 150	10 - 15
	geotextile țesute	30 - 200	15 - 20
PET	geogriile țesute	20 - 800	8 - 15
	geogriile suprapuse	20 - 400	6 - 10
	geotextile țesute	100 - 1000	8 - 15
PP	geogriile țesute	20 - 200	8 - 15
	geogriile suprapuse	20 - 200	8 - 15
	geogriile extrudate	20 - 50	8 - 20
	geotextile țesute	20 - 200	8 - 20
PVA	geogriile țesute	30 - 1000	4 - 5
	geotextile țesute	30 - 900	4 - 5

Rezistența în timp a materialului, $R_{B,k}$, se calculează prin împărțirea rezistenței de scurtă durată $R_{B,k0}$ la factorii de reducere $A_1 \dots A_4$. Factorii de reducere vizează influența generată de deformarea sub acțiunea eforturilor de lungă durată (A_1), deteriorarea geosinteticului prin transport, montare și compactare (A_2), influența rosturilor, cusăturilor și a legăturilor dintre două fâșii învecinate de material (A_3), influența mediului înconjurător (A_4). Factorii de reducere sunt stabiliți de companiile producătoare de materiale geosintetice.

Analiza și calculul de verificare a stabilității rambleurilor armate cu geosintetice se poate face prin aplicarea adaptată a unora din metodele de verificare a masivelor de pământ și prin folosirea unor programe de calcul automat.

4.3.1. Aplicarea metodei Fellenius la verificarea stabilității terasamentelor armate cu geosintetice

În metoda Fellenius (fâșiilor), suprafața de cedare (de rupere) se consideră de formă cilindrică circulară, iar printr-o construcție grafică simplă se poate determina linia centrelor cercurilor directoare ale unor suprafețe de cedare alese arbitrar [54].

Se apreciază că înglobarea în masa umpluturii a unor straturi de material geosintetic cu grosime foarte redusă nu poate influența semnificativ asupra formei și poziției suprafeței de rupere [48].

Principalele etape de calcul sunt:

- stabilirea suprafeței de cedare în terasamentul neranforsat;
- determinarea lungimii și dispunerii armăturii pentru un factor de stabilitate $F_{S_{nec. impus}}$.

Suprafața de cedare este considerată acea suprafață pe care se obține factorul de stabilitate minim din curba de variație F_S (fig. 4.10.), ce corespunde unui număr de 6...8 încercări aferente unor cercuri directe impuse aleator.

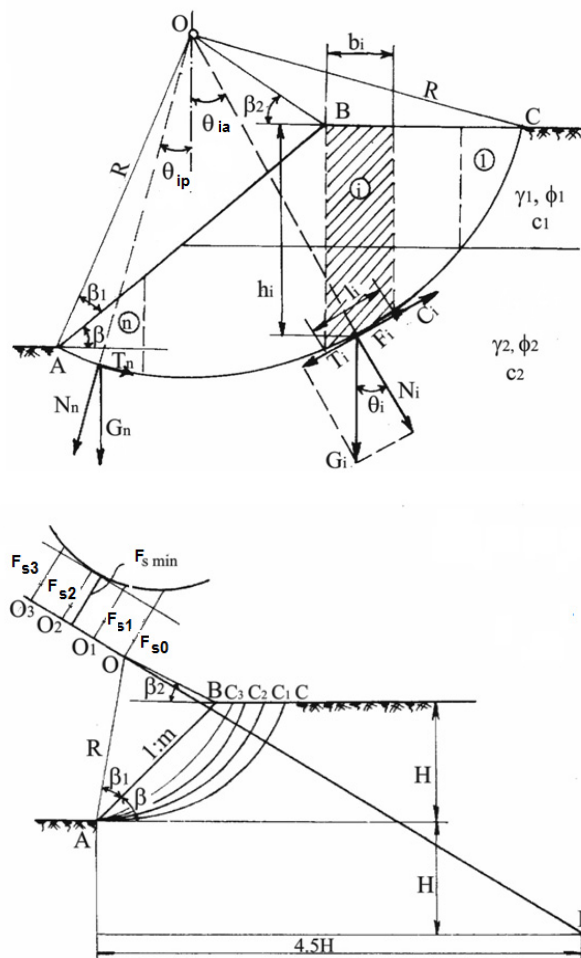


Fig. 4.10. Schema de calcul a stabilității taluzului terasamentului neranforsat și de determinare a factorului de stabilitate minim

Pentru un centru al cercului director curent "i" factorul de stabilitate F_{Si} rezultă ca raport dintre momentul rezistent și momentul activ, astfel:

$$F_{Si} = \frac{M_r}{M_a} = \frac{\sum(G_i \cdot \cos\theta_i \cdot \text{tg}\phi_j + c_j \cdot l_i + G_i \cdot \sin\theta_{ia}) \cdot R}{\sum G_i \cdot \sin\theta_{ia} \cdot R} \quad (4.11)$$

în care:

- G_i - greutatea fâșiei i,
- θ_i - unghiul dintre verticală și raza cercului director ce trece prin punctul de intersecție a suportului greutateii cu cercul director al suprafeței de rupere,
- θ_{ia} - idem pentru fâșiile din zona activă,
- θ_{ip} - idem pentru fâșiile din zona pasivă,
- ϕ_j - unghiul frecării interioare corespunzătoare stratului j în care se găsește baza fâșiei i,
- c_j - coeziunea corespunzătoare stratului j în care se găsește baza fâșiei i,
- l_i - lungimea coardei corespunzătoare fâșiei i,
- R - raza cercului director al suprafeței de rupere.

Corespunzător centrului cercului director pentru care s-a obținut $F_{s\min}$, se delimitează masa alunecătoare în terasamentul ranforsat prin armare cu geosintetice (fig. 4.11.):

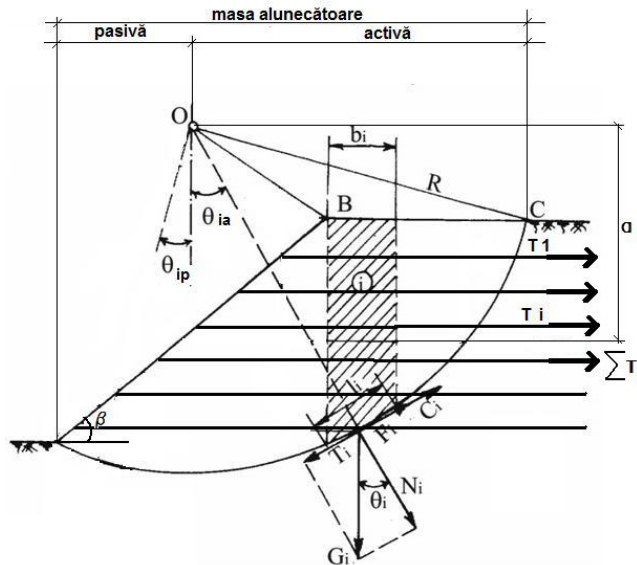


Fig. 4.11. Delimitarea masei alunecătoare în terasamentul ranforsat

Aportul ranforsării prin armarea cu geosintetice se poate exprima prin momentul rezistent, generat de rezultanta forțelor de întindere (fig. 4.12.), astfel că relația (4.11) devine:

$$F_s = \frac{\sum R(G_i \cdot \cos\theta_i \cdot \text{tg}\phi_j + c_j \cdot l_i + G_i \cdot \sin\theta_{ia}) + a \sum T_i}{R \cdot \sum G_i \cdot \sin\theta_{ia}} \quad (4.12)$$

Ținând seama că suprafața de cedare, corespunde factorului de stabilitate minim și considerând că $F_s = F_{s \text{ nec.}}$, relația 4.12 poate fi scrisă sub forma:

$$F_{s \text{ nec}} = F_{s \text{ min}} + \frac{a \sum T_i}{R \sum G_i \cdot \sin\theta_{ia}} \quad (4.13)$$

din care rezultă momentul rezistent necesar ranforsării prin armare cu geosintetice a terasamentului:

$$a \sum T_i = (F_{s \text{ nec}} - F_{s \text{ min}}) \cdot R \cdot \sum G_i \cdot \sin\theta_{ia} \quad (4.14)$$

Ranforsarea terasamentului trebuie proiectată în așa fel încât momentul rezistent din relația (4.14) să se obțină cu consum minim de material geosintetic. Forța de întindere capabilă T_i , corespunzătoare fiecărei armături este dependentă de rezistența la întindere a armăturii și de lungimea de ancorare a acesteia în masa alunecătoare sau în masa terasamentului. Dacă se poate asigura o lungime de ancorare suficientă, atunci în momentul pierderii stabilității, respectiv la limita echilibrului, armătura va ceda prin rupere; în caz contrar ea va fi smulșă din terasament, în calcul ținându-se seama de forța de smulgere respectivă.

Forța de întindere din armătură descrește în zona de rezistență, de la valoarea maximă T_{max} la zero (fig. 4.12.) în măsura în care poate fi predată masivului de pământ prin frecare. La limita echilibrului rezistența la întindere T_{max} și forțele de frecare mobilizate pe cele două fețe - superioară și inferioară - ale geosinteticului sunt egale.

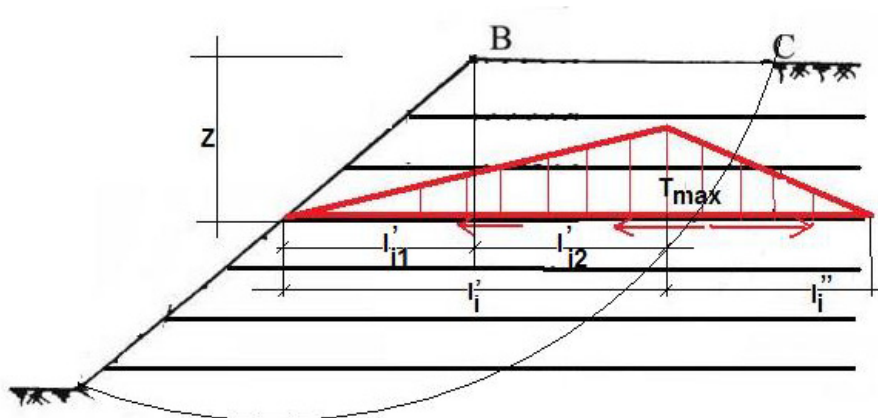


Fig. 4.12. Variația forței de întindere pe lungimea armăturilor

Lungimea limită de ancorare a armăturii pentru ca să nu se producă smulgerea se determină din condițiile:

$$T_{max} = F'_i \quad (4.15)$$

și

$$T_{max} = F''_i \quad (4.16)$$

în care T_{max} reprezintă sarcina de rupere interpolată a geosinteticului, corespunzătoare unei lățimi de 1000 mm. Forțele de frecare F'_i și F''_i sunt generate de sarcina geologică și se calculează cu relațiile:

$$F'_i = 2 \cdot l'_{i1} \cdot \bar{q}_z \cdot f + 2 \cdot l'_{i2} \cdot \gamma \cdot z \cdot f \quad (4.17)$$

$$F''_i = 2 \cdot l''_i \cdot \gamma \cdot z \cdot f \quad (4.18)$$

relații în care:

$l'_{i1} + l'_{i2} = l'_i$ și l''_i au semnificațiile din figura 4.12,

\bar{q}_z - sarcina geologică medie pe lungimea l'_{i1} ,

g - greutatea volumică a pământului compactat din rambleu,

z - adâncimea la care se găsește armătura corespunzătoare orizontului i ,

f - coeficient de frecare dintre geosintetic și pământ.

Lungimea de ancorare din masa alunecătoare și din terasament, rezultate din condițiile (4.15) și (4.16) se multiplică cu un coeficient de siguranță supraunitar.

4.3.2. Etapele calculului de verificare a stabilității terasamentelor armate cu geosintetice cu programul DC-Geotex

Apartinând grupului de programe de calcul DC-SOFTWARE, modulul de calcul DC-Geotex este destinat calculului taluzurilor armate cu materiale geosintetice.

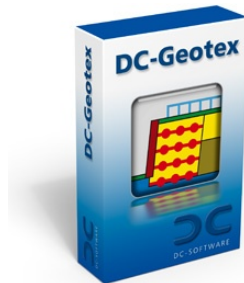


Fig. 4.13. Modulul DC-GEOTEX

Calculul de armare este implementat pe baza normelor în vigoare și anume Eurocode 7 (DIN EN 1997-1, DIN 1054:2010, OENORM B 1997-1-1, NF EN 1997-1,

BS EN 1997-1, UNI EN 1997-1, NTC 2008, EBGeo 2010, SIA 267), cu posibilitatea introducerii manuale a altor norme aferente fiecărei țări în parte.

Analiza programului de calcul cuprinde:

- aflarea lungimii necesare de ancorare a materialului geosintetic de armare;
- verificarea stabilității interne;
- verificarea stabilității externe;
- verificarea lungimi de împăturare cu geosintetic la parament, acolo unde este cazul;
- verificarea presiunii pământului armat asupra paramentului, acolo unde este necesar;
- posibilitatea alegerii diferitelor soluții pentru parament și verificări asupra acestuia;
- posibilitatea alegerii diferitelor materiale geosintetice, cu alegerea implicită a factorilor de siguranță ai geosinteticului sau introducerea manuală a unor noi materiale geosintetice;
- introducerea diferitelor suprasarcini care acționează asupra masivului armat;
- introducerea straturilor de pământ conform realității și calcularea presiunii pământului pe baza teoriei lui Culmann [83].

Interfața programului este una simplă și ușor de utilizat, ordinea icoanelor de introducere a datelor fiind în așa fel dispusă încât urmându-le sunt introduse toate datele necesare a calculului prin respectarea fidelă a realității.

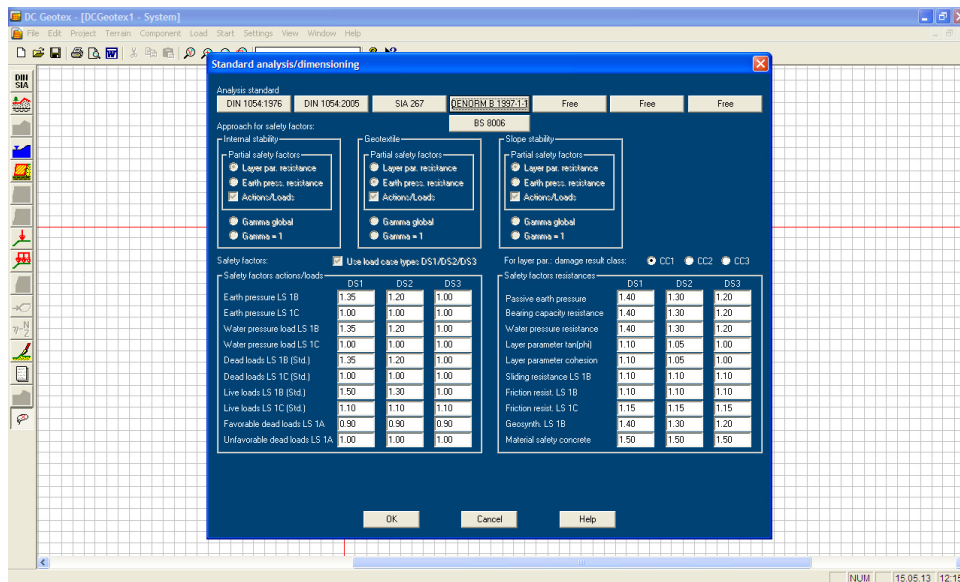


Fig. 4.14. Icoana de alegere a standardului de analiză a calculului

Pașii urmați în introducerea datelor cunoscute de proiectant sunt după cum urmează:

- denumirea proiectului;
- alegerea standardului de bază pentru verificările de stabilitate;
- introducerea geometriei terenului existent și introducerea stratificației conform realității;
- alegerea parametrilor geotehnici ai terenului din baza de date a programului sau introducerea manuală a denumirii terenului și a caracteristicilor acestuia (fig. 4.15.), respectiv unghiul de frecare interioară, coeziunea, greutatea volumică și modulul de deformație liniară. Descrierea caracteristicilor terenului existent se face pentru fiecare strat definit în parte, putând fi menționat și marcat nivelul pânzei freatice;

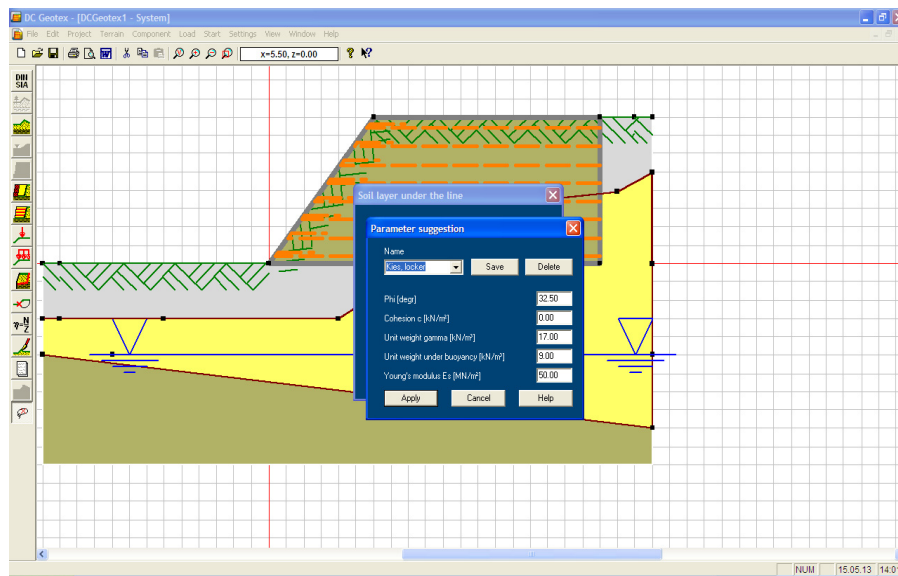


Fig. 4.15. Icoana de alegere a stratificației terenului

- definirea masivului de pământ armat prin delimitarea geometriei acestuia și prin alegerea din baza de date sau prin introducerea caracteristicilor geotehnice ale materialului de umplutură;
- alegerea tipului de geosintetic, alegerea grosimii unui strat de pământ între două fâșii de geosintetic, optarea pentru preluarea caracteristicilor și a factorilor parțiali de siguranță din baza de date. Se poate opta pentru fâșii identice ca și lungime sau diferite la fiecare nivel sau se poate alege și varianta de utilizare a două tipuri de materiale geosintetice, de exemplu unul cu rezistență la tracțiune mai mare în partea inferioară a masivului armat și unul cu rezistență mai mică la partea superioară. Baza de date a materialelor geosintetice este generoasă, cuprinzând toate caracteristicile

necesare ale materialului geosintetic și întreaga gamă de factori de siguranță;

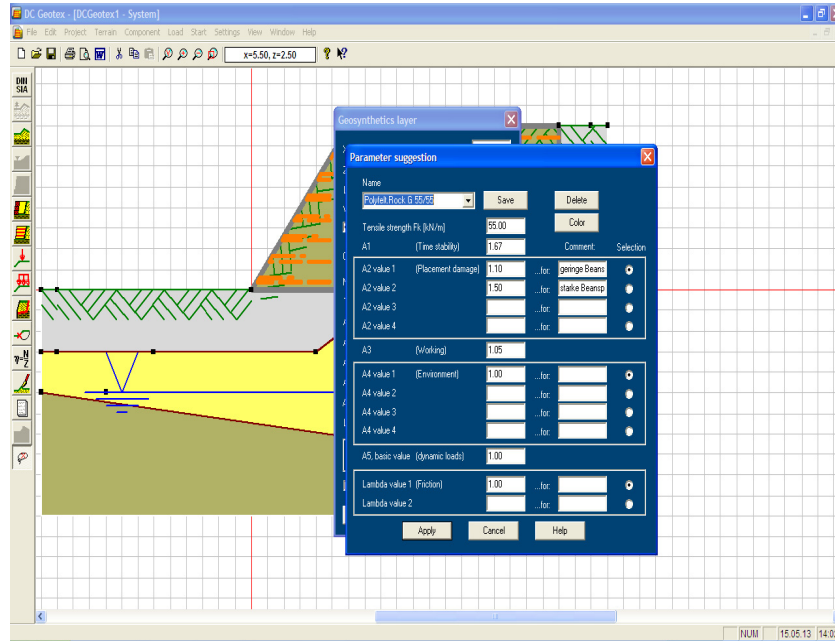


Fig. 4.16. Exemplu de alegere a materialului geosintetic și implicit ai factorilor parțiali de reducere ai acestuia

- alegerea variantei de parament, toate elementele geometrice ale acestuia și caracteristicile materialului din care este realizat;
- introducerea parametrilor seismici orizontali și verticali se face accesând icoana ce permite introducerea manuală a acestor date;
- în funcție de situație, se introduc solicitările exterioare masivului armat cu posibilitatea de a le poziționa acolo unde se află în realitate (fig. 4.17.), putând fi luate în calcul atât solicitări verticale cât și orizontale, dinamice sau statice.

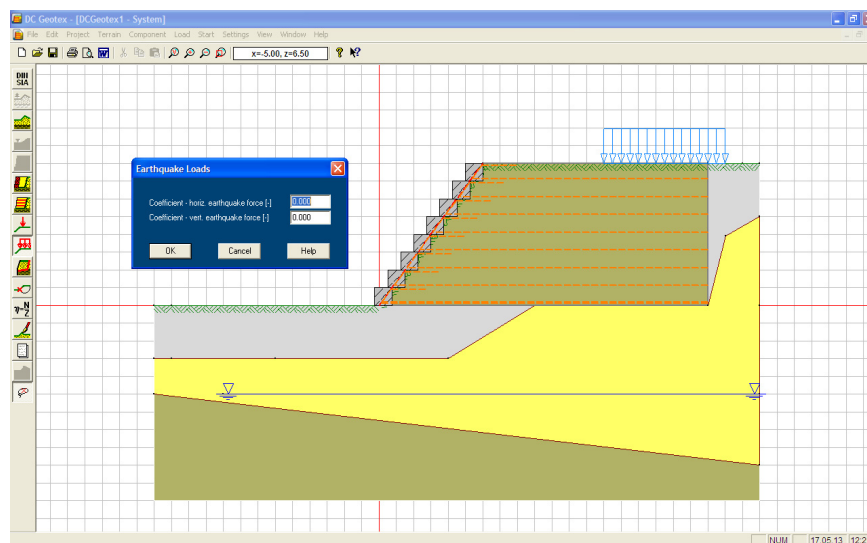


Fig. 4.17. Alegerea tipului de parament si a coeficienților seismici

Odată introduse aceste date de referință asupra proiectului, programul calculează pe baza ipotezelor mai sus menționate stabilitatea taluzului armat și rezistențele materialelor geosintetice alese. Rezultatele sunt redată atât grafic (fig. 4.18.) cât și afișate în fișiere, în așa fel grupate, încât se poate urmări fiecare verificare dacă este sau nu îndeplinită. Programul oferă raportul de analiză detaliat, cuprinzând cazurile de proiectare, factorii parțiali de siguranță, valorile rezistențelor și a eforturilor în armătura geosintetică. Se poate urmări verificarea la stabilitate internă, verificarea armăturilor la smulgere în zona activă și pasivă, stabilitatea externă cu calculul detaliat asupra presiunii pe teren, stabilitatea la alunecarea pe talpă, calculul capacității portante a terenului de fundare, cât și contribuția armăturii geosintetice la stabilitatea masivului de pământ armat.

Acolo unde este cazul, se poate reveni în program și în funcție de situație, se modifică fie geometria structurii, fie grosimile staturilor de umplutură sau tipul materialului geosintetic.

Programul de calcul este ușor de folosit, având o interfață cu posibilitate de modificare a scării grafice sau a culorilor simbol, iar orice rectificare a datelor introduse este ușor de realizat. Rezultatele generate în raportul final sunt bine prezentate, logic organizate și ușor de interpretat, atât cele grafice cât și cele numerice.

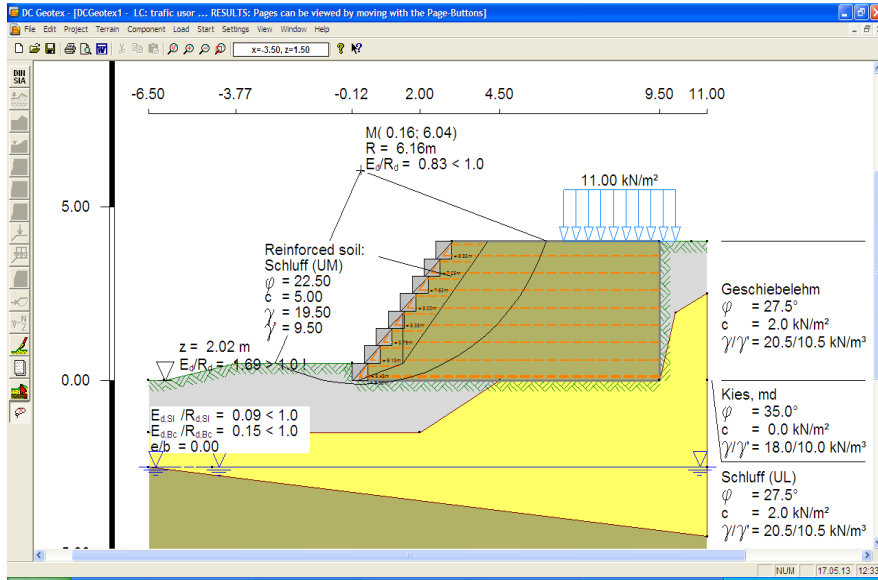


Fig. 4.18. Rezultatul grafic al stabilității interne a unui exemplu de calcul

5. STUDIU DE CAZ PRIVIND REALIZAREA DE TERASAMENTE ARMATE CU GEOSINTETICE LA CONSTRUCȚIA UNUI POD RUTIER

5.1. Prezentare generală

În cele ce urmează se prezintă în detaliu, sub aspectul proiectării și execuției, aplicarea tehnicii de ranforsare prin armarea cu geosintetice a terasamentelor, aferente rampei și culeii unui pod rutier nou, realizat pe drumul DJ 609B în localitatea Cutina, din județul Timiș.

Denumirea obiectivului de investiții este "Pod pe DJ 609B, la km 16+800, la Cutina amplasat în județul Timiș, comuna Bethausen, localitatea Cutina". Titularul și beneficiarul investiției este C.J.Timiș - Direcția pentru Administrarea Drumurilor și Podurilor Județene Timiș, proiectul fiind elaborat de SC APECC SRL Timișoara, unde am participat în calitate de colaborator pentru partea de terasamente.

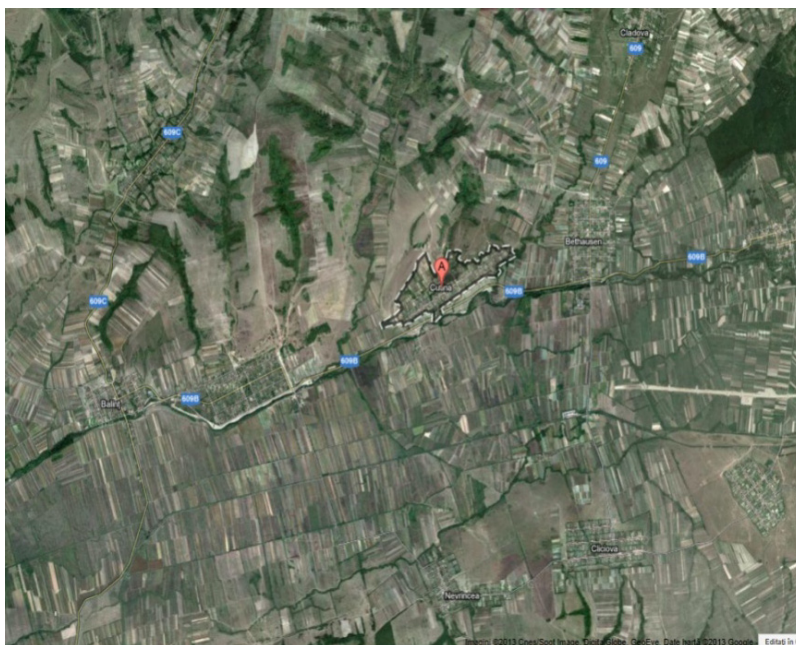


Fig. 5.1. Vedere din satelit - Google Maps – Cutina, județul Timiș

DJ 609B este o rută ce leagă orașul Făget cu localitățile Bălinț și Coșteiu, variantă alternativă la DN68 Lugoj - Făget. În situația actuală continuitatea DJ 609B este asigurată la km 16+800, peste pârâul Nieregiscu cu o structură tip boltă realizată din beton monolit, ce are o deschidere de cca. 5 m. Lățimea părții carosabile este de numai 4,40 m, insuficientă pentru 2 benzi de circulație. S-au constatat distrugereri la grinda parapet de pe partea dreaptă a drumului precum și la structura de rezistență, iar precizări cu privire la nivelul de viabilitate s-au făcut în expertiza tehnică efectuată asupra acestei structuri în anul 1999. Albia cursului de apă este nesistemată, invadată de vegetație, astfel că în zona podului scurgerea apei se realizează defectuos.



Fig. 5.2. Degradări ale podului existent

Acest pod nu mai prezintă siguranță pentru desfășurarea traficului, nici ca și capacitate portantă și nici din punct de vedere al gabaritului. Datorită degradării structurii vechi, s-a solicitat modificarea traseului drumului județean 609B și implicit realizarea unei structuri noi, capabilă să preia traficul la nivelul clasei E de încărcare (convoaie A30, V80), conform normativelor în vigoare. Schema statică a podului propus este de tip cadru cu o singură deschidere, având lumina de 8,60 m. Structura proiectată s-a executat într-o singură etapă, în amplasament nou iar pe durata lucrărilor, circulația s-a desfășurat pe traseul existent al drumului județean. Gabaritul podului este corespunzător unui drum județean cu două benzi de

circulație, având o lățime totală de 9 m, din care 7 m sunt rezervați părții carosabile.

Siguranța circulației s-a asigurat pe pod prin montarea de parapet metalic zincat adecvat și pe zonele adiacente podului prin montare de parapete de tip semigreu. Înainte de începerea lucrărilor s-a realizat semnalizarea corespunzătoare a zonelor afectate de lucrări, conform normelor metodologice privind condițiile de închidere și de instituire a restricțiilor de circulație în vederea executării de lucrări în zona drumului public și/sau pentru protejarea drumului – anexa IV B.2.

Pentru aducerea traseului DJ 609B la o stare de viabilitate corespunzătoare, s-a prevăzut realizarea unei structuri noi de traversare, pe un traseu apropiat de cel existent (fig. 5.3).

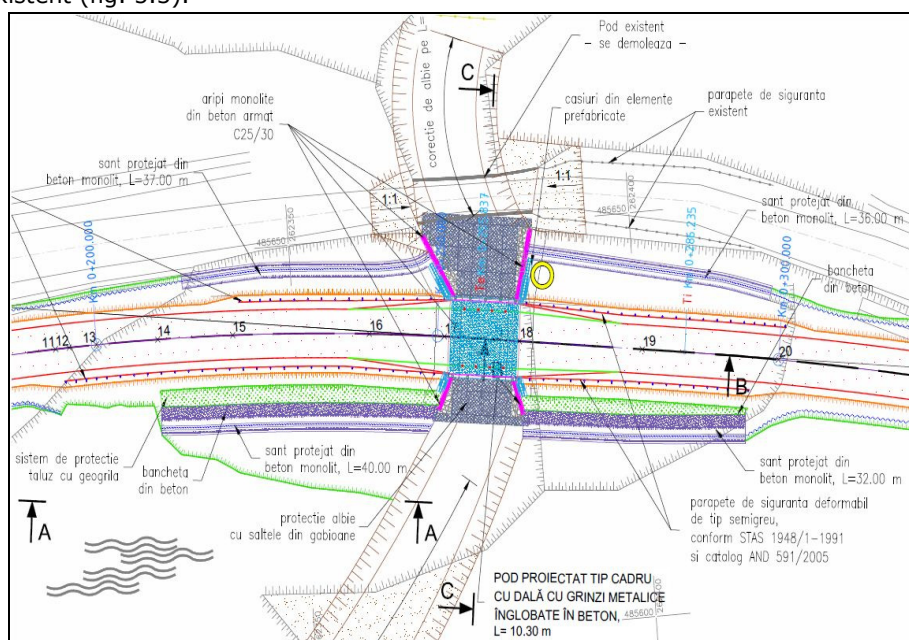


Fig. 5.3. Planul de situație al amplasamentului Cutina

Tabel 5.1.

Caracteristicile principale ale podului proiectat

categoria de importanță (conform HG 766-97)	B (deosebită)
categoria construcției (conform STAS 4273 - 83 art. 2.11)	4
clasa de importanță (conform STAS 4273 - 83 art. 5.1.)	IV definitivă principală
clasa de încărcare	E (A30, V80)
lungimea podului	10,30 m
lățimea podului	9,96 m

gabaritul podului	9,00 m
declivitatea podului	0 %
profil transversal acoperiș	2 x 2,5 %;
lungimea parapetului pe pod	2 x 9,80 m
lungimea parapetului pe rampe	161 m;
racordare cu terasamentele	plăci de racordare, aripi monolite din beton armat

Racordarea suprastructurii cu terasamentele s-a realizat pe o lungime de 4,00 m, cu plăci de racordare din beton armat. Racordarea culeelor cu terasamentele se face prin intermediul unor aripi monolite din beton armat, având o fundație din beton simplu.



Fig. 5.4. Aripi monolite din beton armat

Pentru îmbunătățirea condițiilor de scurgere a apelor la debite mari, s-a prevăzut reamenajarea albiei pârâului Nieregiscu pe lungimea de 23 m în amonte, respectiv pe lungimea de 100 m în aval. Pentru evitarea producerii afuerilor la infrastructuri, în secțiunea podului albia se protejează cu saltele din gabioane care se închid aval și amonte cu praguri din gabioane.

5.2. Caracterizarea tehnico-geologică și geotehnică a amplasamentului

Conform hărților actuale, realizate din perspectiva componenței și clasificărilor solurilor din România, zona Făget - *Cutina* - Coșteiu se află pe un areal cu teren de natură argiloiluvială.

Argiloiluvierea este un proces de translocare ce constă în îndepărtarea de particule fine argiloase, în stare de suspensie, din partea superioară a profilului și depunerea acestora mai în profunzime. Acumularea argilei este însoțită în mod obișnuit și de spălarea și respectiv acumularea oxizilor de fier (Fe), care imprimă o culoare gălbui roșcată [17]. Din diferitele tipuri de soluri argiloiluvale, din clasa molisolurilor și a argiluvisolurilor, care prezintă caracteristicile tipice fac parte și solurile brune argiloiluviale. Acestea sunt straturi relativ adânci și sunt formate în condiții de mediu după cum urmează:

- temperatura medie anuală: 7,6-10,4 grade C;
- precipitații medii anuale: 580-1000 mm/an;
- vegetație: păduri de *Quercus* și *Fagus*;
- material parental: depozite loessoide, depozite nisipoase și argile.

Se formează pe relieful de coline, câmpii, terase sau platforme. Se întâlnesc în condiții de relief de podiș, deal, piemont și câmpii umede; la altitudini cuprinse între 150 și 800 m; pe suprafețe de obicei înclinate. S-au format pe loessuri, depozite loessoide, luturi, nisipuri, argile, conglomerate, gresii etc. [93].

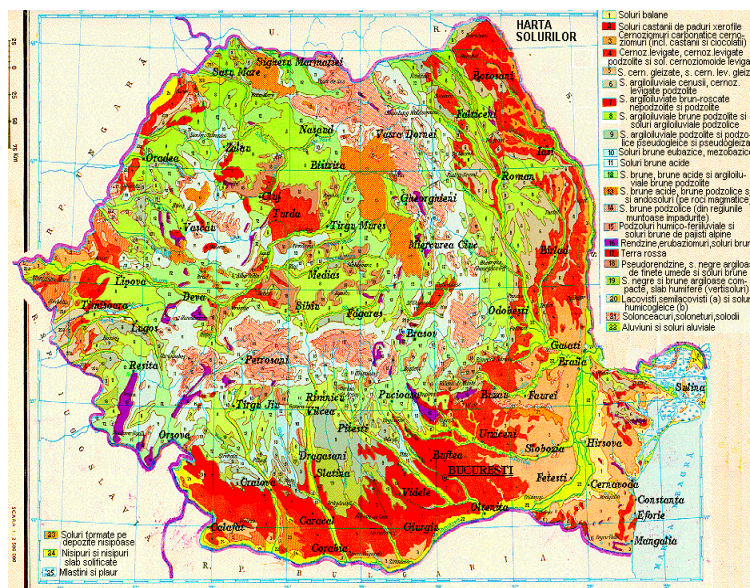


Fig. 5.5. Harta geologică a României

202 Studiu de caz privind realizarea de terasamente armate cu geosintetice - 5

Zona amplasamentului se caracterizează prin existența în partea superioară a formațiunilor cuaternare, reprezentate de un complex alcătuit din argile, prafuri, nisipuri și pietrișuri, cu extindere la peste 100 m adâncime. Fundamentul cristalin-granitic se află la cca. 1400 – 1700 m adâncime și este străbătut de o rețea densă de micro-falii. Caracteristicile geologice și geotehnice ale terenului din amplasament sunt prezentate detaliat în studiul geotehnic prin prisma următoarelor aspecte:

- stratificația terenului de fundare;
- regimul hidrogeologic al amplasamentului;
- caracteristicile fizico-mecanice ale straturilor.

Stratificația terenului de fundare și valorile caracteristicilor geotehnice ale straturilor de pământ prezente în stratificație, sunt date în fișa geotehnică a forajului F1 executat pe amplasament (fig. 5.6.).

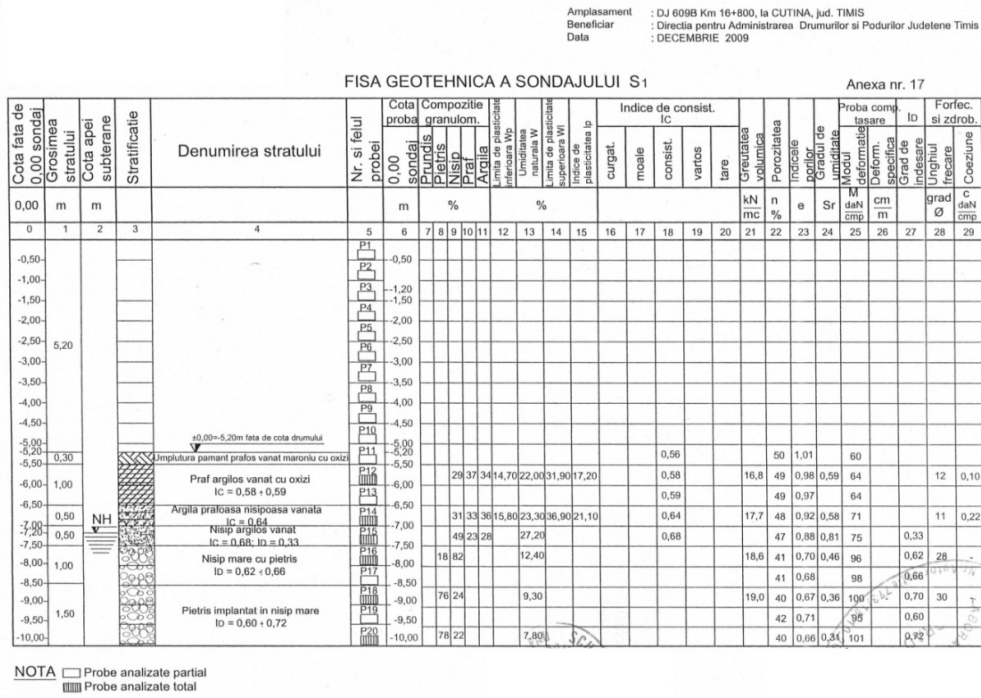


Fig. 5.6 Fișa geotehnică a forajului executat pe amplasament (DJ609B km 16+800)

Față de cota terenului natural de la suprafața căii vechi de rulare, forajul pentru investigarea terenului de fundare a fost efectuat la baza terasamentului vechi, respectiv la nivelul albiei pârâului, respectiv la cota -5,20 m, așa cum se observa în fig. 5.7.

Podul nou este amplasat paralel cu cel prevăzut să fie demolat, iar pentru realizarea rampei de pământ armat sunt necesare lucrări de umplutură la baza cărora s-a realizat forajul pentru prospectarea terenului de fundare.



Fig. 5.7. Amplasamentul forajului F1

Amplasamentul podului este situat pe DJ 609B, la km 16+800, în localitatea Cutina, județul Timiș, care traversează pârâul Nieregiscu, se încadrează în zona de dealuri piemontane, caracterizată de un regim climatic cu caracter temporar-continental moderat. Temperatura medie anuală este de 10,60°C. În această zonă valoarea medie a precipitațiilor se înscrie între 605,50 mm (stația Lugoj) și 735 mm în zona colinară (stația Făget). Adâncimea de îngheț este de 0,70 m.

Din punct de vedere seismic, conform SREN 1998-1/NA:2008, amplasamentul podului proiectat se află în zona "Z1", caracterizată prin perioadă de colț $T = 0,7$ secunde și accelerația terenului $a_{gR} = 0,12$ g.

5.3. Alegerea soluției tehnice de terasament ranforsat prin armare cu material geocompozit

Particularitatea terasamentelor în rambleu aferente acestei lucrări, constă în execuția lor pe un teren în parte alcătuit din praf argilos și argilă prăfoasă, având la dispoziție ca și material de umplutură, o argilă prăfoasă nisipoasă. Prin alegerea atentă a dimensiunilor geometrice și corelarea corectă pentru o bună conlucrare a materialului geosintetic cu pământul de umplutură din corpul terasamentului, se poate asigura un timp de exploatare îndelungat și sigur.

Soluția de terasament armat cu geosintetice a fost în final aleasă dintre următoarele variante posibile de aplicat:

- terasament în rambleu cu taluzul înclinat la 2:3;
- terasament cu sprijinire din gabioane;
- terasament susținut de zid de sprijin de greutate;
- terasament susținut de zid de sprijin din beton armat monolit, tip cornier.

Terasamentul armat cu geosintetice este soluția optimă pentru acest proiect, celelalte opțiuni având suficiente inconveniente legate de eficiență, timpul de punere în operă și nu în ultimul timp din punct de vedere economic. Astfel, în cazul aplicării variantei de executare a unui terasament în taluz cu panta 2:3, pentru asigurarea stabilității acestuia, ținând seama de înălțimea relativ mare precum și de natura și înclinarea terenului de suport era necesară utilizarea de contrabanchete (fig. 5.8) ca măsură suplimentară.

Contrabanchetele sunt construcții de pământ ce se folosesc la sprijinirea rambleurilor înalte sau executate pe pante abrupte, sub forma unor umpluturi mai mici, amplasate la baza taluzului. Contrabanchetele pot fi exterioare la baza rambleului (fig. 5.8.a) sau cuprinse în corpul rambleului (caz în care se execută din zidărie de piatra brută - figura 5.8.b).

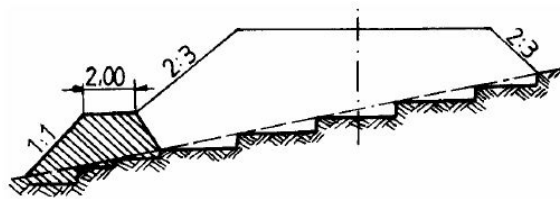


Fig. 5.8.a. Contrabanchete exterioare rambleului

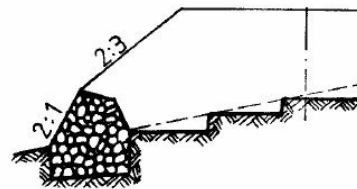


Fig. 5.8.b. Contrabanchete incluse în corpul rambleului

Această soluție ar fi necesitat, pe lângă lucrările de punere în operă a terasamentului și anume, de așezare și compactare în straturi pe toată înălțimea sa a pământului de umplură, executarea suplimentară a sprijinirii prin intermediul contrabanchetelor, ceea ce presupune aducerea unui pământ de granulozitate grosieră, cu caracteristici tehnice ce includ și rezistența la îngheț. Forma și dimensiunile contrabanchetelor, rezultă în urma verificărilor la stabilitate a rambleului. Executarea acestor lucrări se poate efectua mecanizat, pe baza aceluiași principii ca și la executarea rambleului, cu condiția urmării în mod deosebit a calității materialelor utilizate.

Zidurile de sprijin au fost o altă opțiune pentru soluționarea sprijinirii terasamentului pe DJ 609B (fig. 5.9).

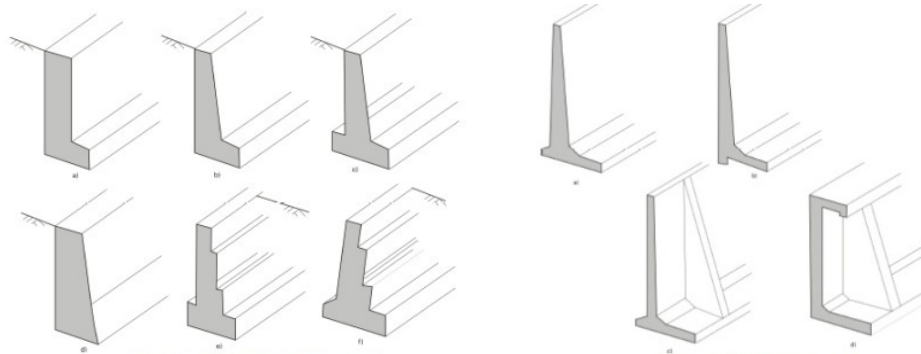


Fig. 5.9.a. Variante de ziduri de sprijin de greutate

Fig. 5.9.b. Variante de ziduri de sprijin tip cornier

Stabilitatea zidurilor de sprijin de greutate (fig. 5.10), este asigurată prin greutatea lor proprie, ceea ce implică secțiuni transversale de dimensiuni relativ mari. Se execută din zidărie de piatră uscată sau cu mortar, beton simplu și beton ciclopian. Alegerea tipului de zid și a dimensiunilor inițiale se face cu ajutorul unor cataloage de proiecte tip, în funcție de înălțimea masivului de pământ ce trebuie sprijinit și de caracteristicile fizico-mecanice ale acestuia. Lucrările implică coordonarea echipelor pentru turnarea betonului și lucrări suplimentare de cofrare. De asemenea, pentru înălțimi de sprijin mari, în cazul analizat, în jur de 7,0 m, din cauza consumului de material, sunt nerecomandate.

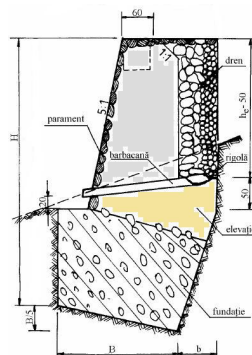


Fig. 5.10. Exemplu de zid de sprijin de greutate

În cazul lucrărilor de sprijinire a terasamentelor la podul din Cutina, datorită înălțimii de sprijin relativ mari, se putea folosi soluția tehnică cu ziduri de sprijin din beton armat. Zidurile de sprijin din beton armat au dimensiunile mult mai reduse decât zidurile de sprijin masive, în aceasta situație grosimea peretelui de sprijin fiind estimată la cca. 50 cm, pentru o înălțime de sprijin H în jur de 6 m (fig. 5.11). În principiu, secțiunea transversală a zidurilor de sprijin din beton armat, este formată dintr-o placă de fundație în care este încastat peretele frontal. În cazul discutat,

deoarece geometria taluzului nu permitea realizarea zidului de sprijin tip cornieră din elemente prefabricate, s-ar fi recurs la executarea acestuia monolit, cu realizarea poziției armăturilor necesare la fața locului. Pentru înălțimi mari (de regulă peste 10 m), se utilizează ziduri de sprijin cu contraforți (nervuri echidistante dispuse transversal la distanțe de 3...4 m), prin care se asigură o legătură suplimentară între placa de fundație și peretele frontal. Totuși, în cazul Cutina nu s-ar fi impus folosirea zidurilor de sprijin din beton armat cu contraforți.

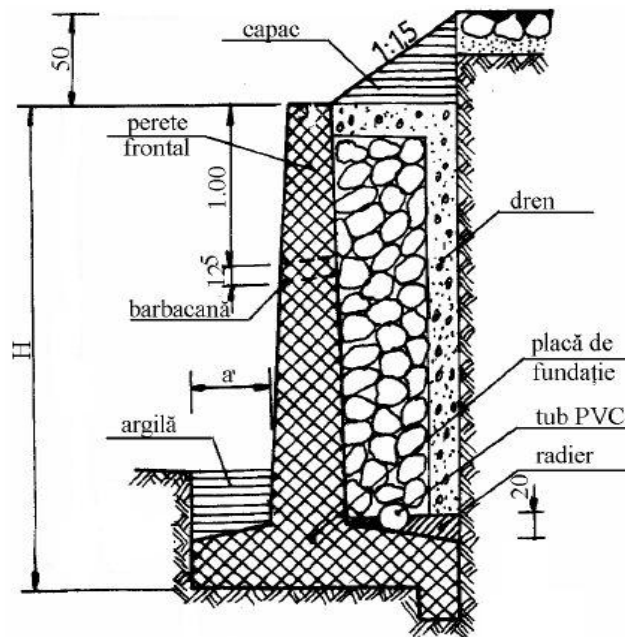


Fig. 5.11. Zid de sprijin tip cornieră

5.4. Detalii constructive privind soluția tehnică aleasă și principii de execuție

Ca material geosintetic pentru armarea terasamentelor aferente podului de la Cutina, pe DJ 609B, s-a folosit un geocompozit realizat dintr-un geotextil nețesut, cu filament continuu, armat cu fibre de poliester de înaltă rezistență (fig. 5.12), recomandat să fie folosit pentru ranforsarea pământurilor coezive.



Fig. 5.12. Geocompozit de armare utilizat la terasamentele aferente podului de la Cutina

Soluția tehnică aplicată permite realizarea unui taluz a terasamentelor în rambleu cu o înclinare de până la 70° , ceea ce permite reducerea considerabilă a suprafeței de teren ocupată de rambleu precum și a volumului de terasamente. Soluția presupune utilizarea a patru componente:

- geosintetic de ranforsare pentru armarea și stabilizarea umpluturii, adecvat tipului de material folosit (coeziv), dispus între straturi de cca. 50...60 cm grosime;
- elemente structurale din armături pentru beton, îndoite la unghiul de 70° conform fig. 5.13;
- geogrila de protecție, împotriva eroziunii, care facilitează creșterea și menținerea vegetației, prezentată în fig. 5.14;
- material de umplură corespunzător din punct de vedere tehnic.

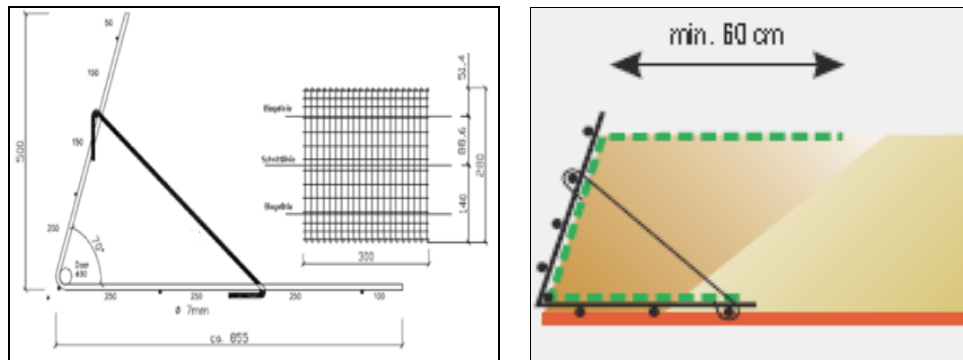


Fig. 5.13 Corniere metalice $\text{Ø}10$, cu ochiuri de 10 x 10 cm

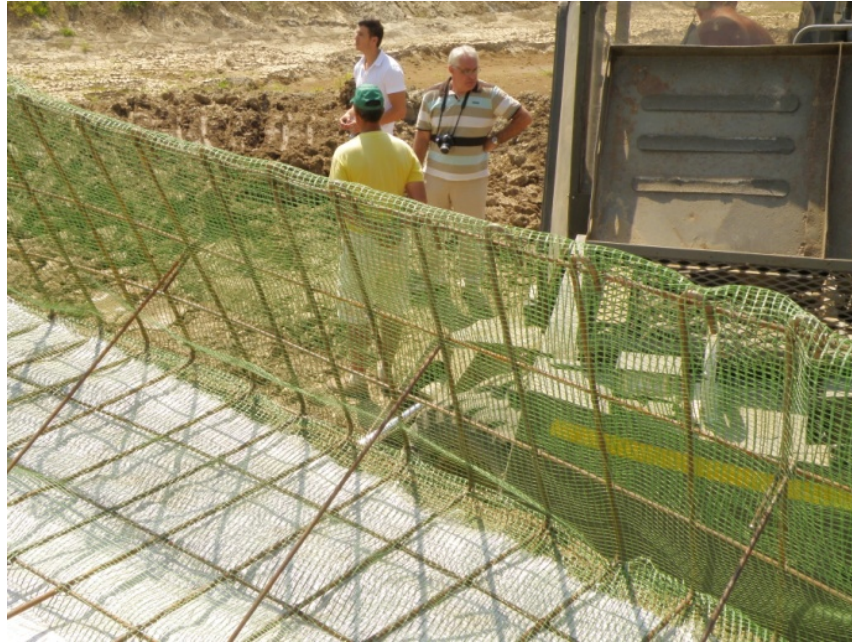


Fig. 5.14. Geogrila de protecție antieroziune Green B

În figura 5.15 este prezentat un profil transversal prin terasamentul armat aferent podului de la Cutina, în care este detaliată alcătuirea constructivă a acestuia.

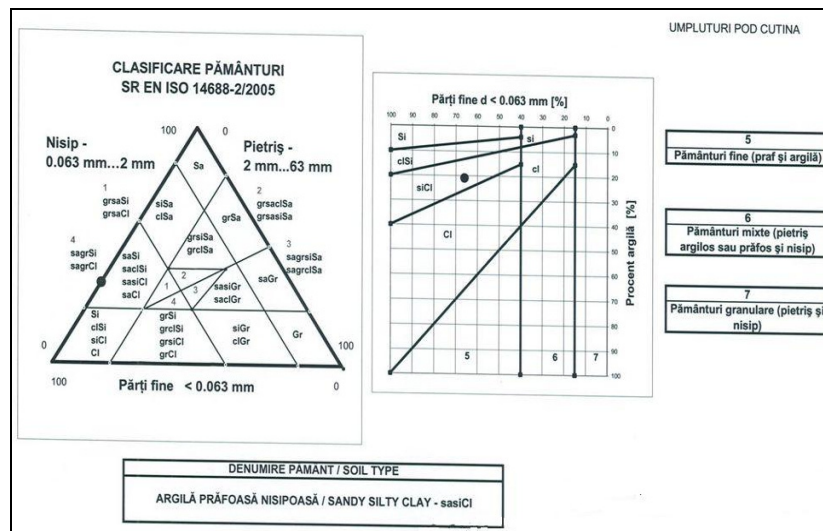


Fig. 5.16. Rezultatul determinării granulozității, pentru umplutura de pământ utilizată la realizarea terasamentelor podului de la Cutina

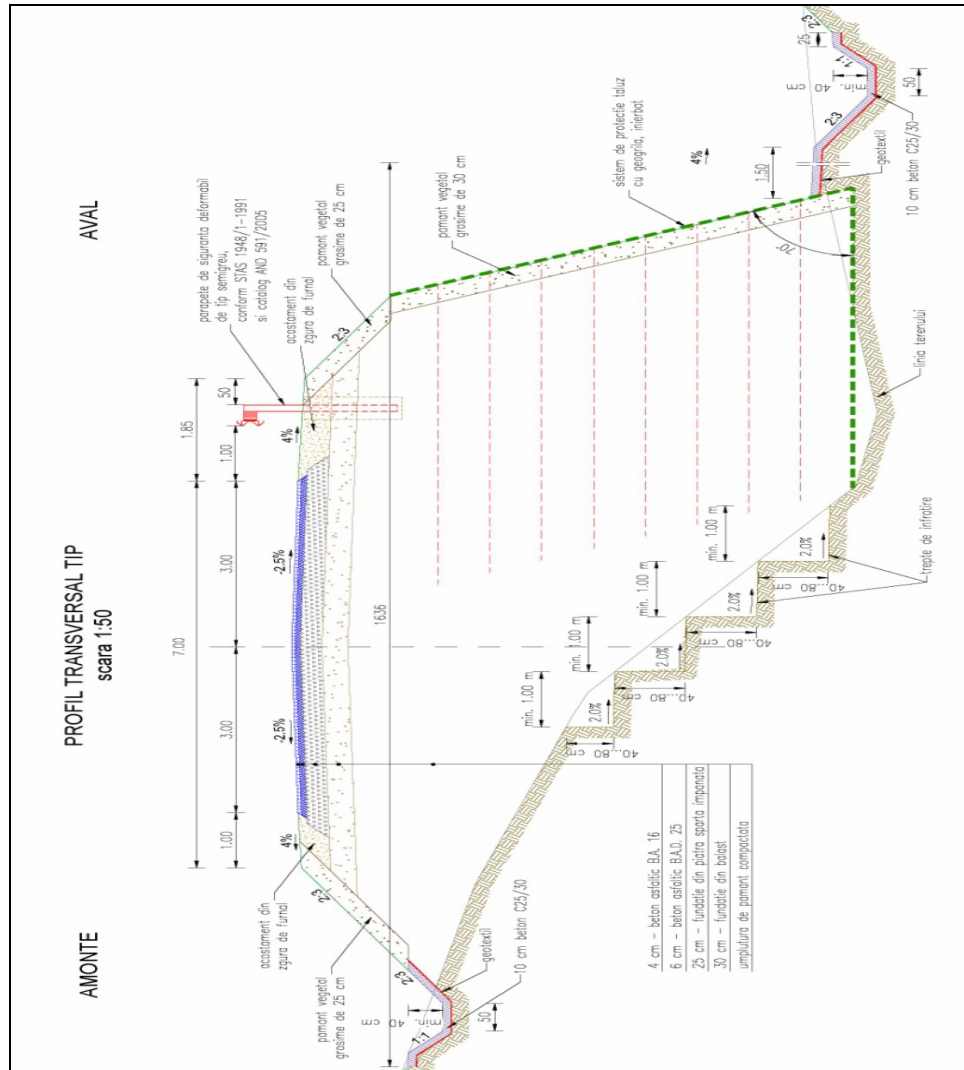


Fig. 5.15. Profil transversal prin terasamentul armat

Pământul de umplură a fost analizat în laborator, rezultatele cuprinzând informații esențiale și pentru alegerea geocompozitului de armare corespunzător. S-au realizat mai multe încercări caracteristice asupra probelor de pământ folosit ca umplură și anume:

- a) Determinarea granulozității pământului, prin metoda sedimentării conform SR EN ISO 14688-2, din care a rezultat clasificarea pământului de

umplutură ca fiind **argilă prăfoasă nisipoasă** cu greutatea volumică $g = 18,6 \text{ kN/m}^3$.

b) Determinarea limitelor de plasticitate, conform STAS 1913/4-86 din care au rezultat:

- limita de plasticitate inferioară $w_p = 23,6\%$,
- limită de plasticitate superioară $w_L = 54,0\%$,
- umiditate naturală $w = 24,8\%$,
- Indicele de consistență $I_c = 0,96$,
- indicele de plasticitate $I_p = 30,4\%$.

c) Determinarea parametrilor rezistenței la forfecare a pământului de umplutură prin încercarea de forfecare directă, conform STAS 8942/2-82 rezultând un unghi de frecare interior $\varphi_u^{\text{calc}} = 15,3^\circ$ și coeziunea $c = 15 \text{ kN/m}^2$.

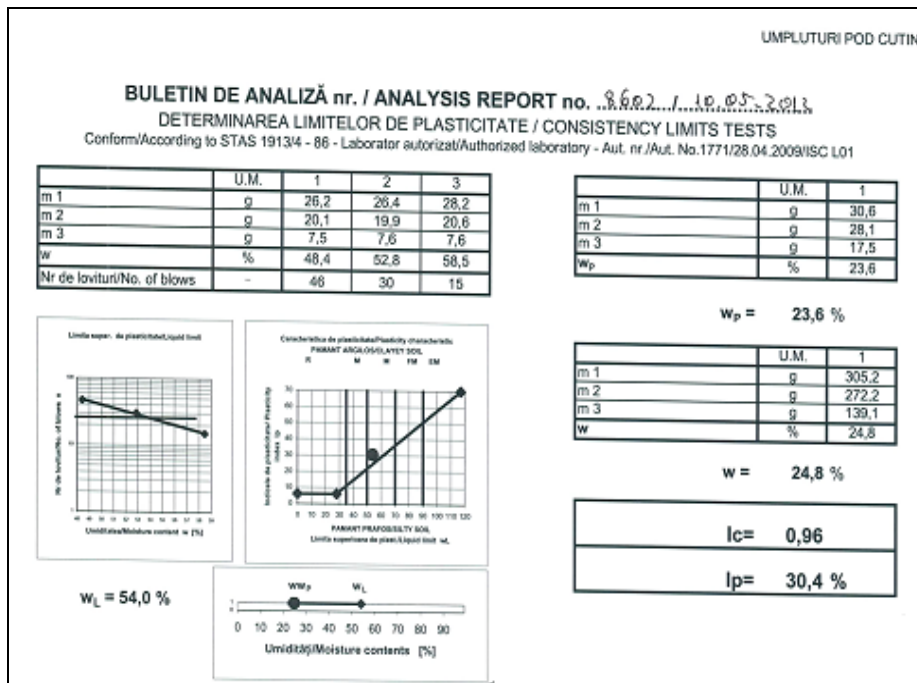


Fig. 5.17 Buletin de analiză pentru determinarea indicilor de plasticitate și consistență

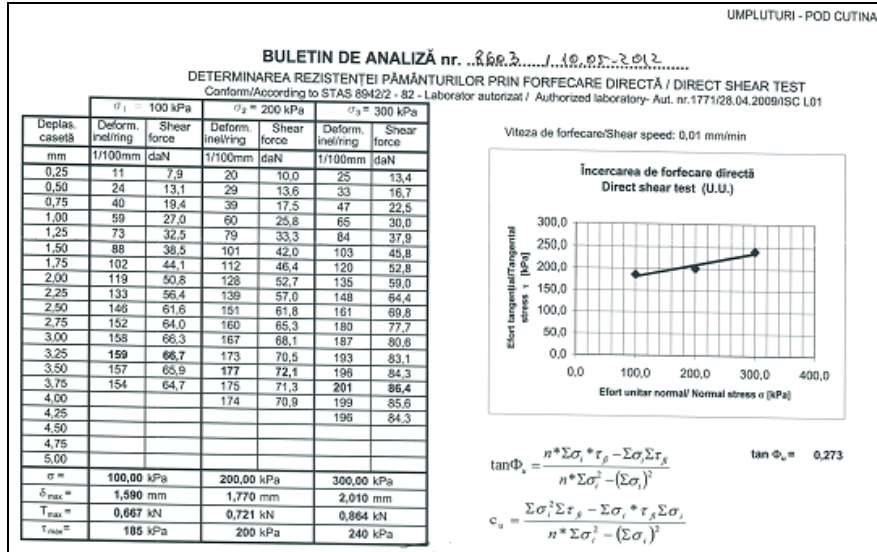


Fig. 5.18. Rezultatul tabelar și grafic al determinării parametrilor rezistenței la forfecare

d) determinarea caracteristicilor de compactare prin încercarea Proctor, conform STAS 1913/13-83. După un număr de 5 încercări a rezultat o umiditate optimă de compactare de $w_{opt} = 21,70\%$ la o densitate maximă în stare uscată $\rho_d = \rho / (1 + w/100) = 1,690 \text{ g/cm}^3$.

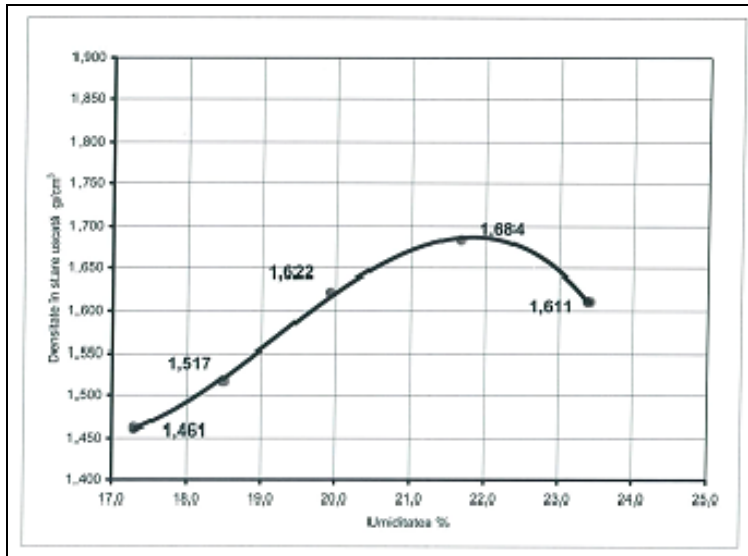


Fig. 5.19. Rezultatul grafic al determinării umidității optime de compactare

La conceperea, proiectarea și dimensionarea terasamentelor armate cu geocompozite, s-a acordat o atenție deosebită faptului că acesta servește ca element suport a unei căi de comunicație rutiere, care nu permite deformații la nivelul patului drumului. De asemenea, pentru a se încadra în peisajul existent, s-a ales ca și variantă de parament înierbat a terasamentelor.

Etapele tehnologice abordate pentru realizarea lucrării au demarat cu defrișarea, înlăturarea stratului vegetal și excavarea deluviului până la atingerea cotei de fundare stabilită. Execuția treptelor de înfrățire, cu panta dinspre aval a fost concepută pentru asigurarea unei conlucrări optime dintre masivul de pământ armat și terenul natural. Compactarea și nivelarea terenului suport a fost realizată pentru asigurarea unui plan orizontal optim de susținere a masivului armat și pentru asigurarea planeității straturilor armate de pământ. Terenul suport a trebuit să aibă o capacitate portantă corelată cu înălțimea structurii de sprijin și încărcările aduse de aceasta. Materialul de armare a fost tăiat cu cuterul la lungimea de **5...5,25** m, stabilită în urma calculului de dimensionare. Pentru a evita confundarea direcției longitudinale cu cea transversală a materialului Rock PEC s-a dispus un fir roșu la o distanță de aprox. 50 cm, față de margine ce indică direcția de așternere (firul roșu este instalat perpendicular pe profilul treptelor de înfrățire).

Așternerea primului strat de geocompozit de armare, cu evitarea cutelor și a denivelărilor, a fost executată cu suprapunerea straturilor adiacente pe o lățime de minim 20 cm (fig. 5.20.). Cofrajul pierdut din grilaj de oțel, îndoit la unghiul stabilit de 70°, s-a ancorat cu 4 cârlige pentru fiecare cofraj (de 3 m lungime) tăiate exact la lungimea necesară grilei de oțel.



Fig. 5.20. Așternerea geocompozitului și realizarea unui strat pentru compactare

Stratul de pământ de umplură dintre două rânduri de armături din geocompozit a fost turnat în fâșii de aproximativ 30 cm și compactat, grosimea finală conform proiectului impunându-se la 50 cm. În zona cornierei metalice a fost turnat pământ fertil pentru susținerea creșterii rapide a vegetației.



Fig. 5.21. Umplerea zonei exterioare cu pământ vegetal

5.5. Prezentarea rapoartelor de dimensionare generate de programul de calcul DC-Geotex

Analiza și calculul de dimensionare a structurii de sprijin, obținută prin armarea terasamentului, s-a realizat astfel încât să fie evidențiate și utilizate informațiile complete asupra stării de eforturi, a deplasărilor și caracteristicilor terenului, având la bază atât GP 093-06 "Ghid privind proiectarea structurilor de pământ armat cu materiale geosintetice și metalice" cât și metoda de utilizare a programului de calcul DC – Geotex.

Pentru ranforsarea terasamentului cu o înălțime de 7,0 m, au fost dispuse 13 rânduri de armături geocompozite, intercalate între ele cu straturi de 0,5 m de pământ de umplură (figura 5.22).

Calculul de dimensionare s-a realizat în programul, DC – Geotex (soft cu aplicații în geotehnică și fundații), ce are implementate normele de proiectare DIN 4017:2006 privind calculul capacității portante a terenului de fundare și DIN 1054:2005 privind proiectarea geotehnică, norme ce au la bază EUROCODE7.

Introducerea datelor geometrice s-a realizat prin tastarea coordonatelor punctelor caracteristice și prin redarea dimensiunilor diverselor părți ale structurii. S-au introdus diferențiat caracteristicile terenului natural și ale umpluturii utilizate între straturile de armare. Definierea straturilor de armatură geosintetică a fost introdusă manual, prin alegerea exactă a geocompozitului din baza de date a programului. Modul de analiză ce stă la baza metodei de calcul pornește de la metoda cinematică rezultând lungimi și eforturi ale materialului geocompozit. Analiza stabilității interne este rezultatul metodei penei duble, cea a stabilității generale având la bază metoda Bishop, iar calculul presiunilor s-a efectuat în teoria lui Coulomb. Rezultatele generate de program se referă la verificarea la alunecare, verificarea la răsturnare, verificarea capacității portante, verificarea stabilității după suprafețe circulare de cedare și verificarea rezistenței la smulgere și rupere a armăturilor geocompozite.

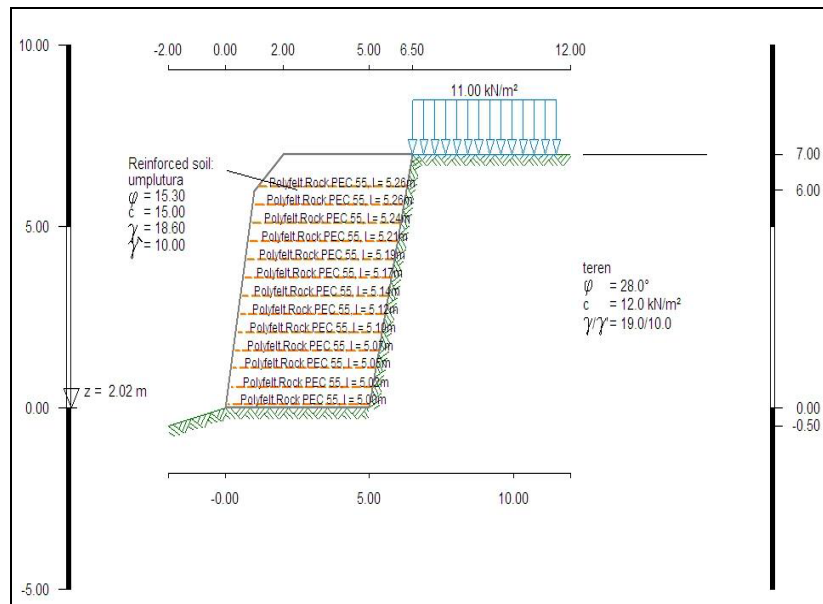


Fig. 5.22. Schema de armare și de calcul conform DC - Geotex

La verificarea stabilității interne, suprafața de alunecare cu cel mai mic factor de stabilitate are coordonatele $x = 0,85$ și $z = 4,5$, iar caracteristicile suprafeței de alunecare sunt:

Tabelul 5.2.

q	GC	Q	$Z_{rqrd} = E_{ah}$	Z_{hmob}	$E_d / R_{d,s}$
[°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
55,7	26,87	11,83	7,70	8,9	0,87 < 1,00!

unde:

- q - unghiul dintre suprafața de alunecare și axele sistemului de referință,
- GC - rezultanta tuturor forțelor,
- Q - componenta forțelor pe direcția suprafeței de alunecare,
- Z_{rqrd} - forța rezultantă în armatura geosintetică, care păstrează starea de echilibru,
- Z_{hmob} - Solicitarea maximă în armatură, în zona pasivă din spatele suprafeței de cedare.

Programul oferă raportul de analize în detaliu cuprinzând cazuri de proiectare, factori de siguranță, valorile rezistențelor materialelor implicate, respectiv a eforturilor în armătură la diferite cote ale structurii. Factorii de reducere pentru calcul au fost preluați implicit din baza de date a programului. Aceștia sunt A_1 factor de reducere raportat la rezistența în timp a materialului, A_2 factor de reducere asupra degradării materialului în momentul punerii în operă, A_3 factor de reducere datorat modului de fabricare, A_4 factor de reducere ce ia în considerare condițiile de punere în operă, A_5 factor de reducere raportat la solicitările dinamice:

Geosynthetics: Factors of reduction						
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A ₁ :	Long term capacity					
A ₂ :	Damage while installation					
A ₃ :	Manufacture					
A ₄ :	Environment					
A ₅ :	Due to dynamic loads					
No.	Name	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
1	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
2	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
3	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
4	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
5	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
6	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
7	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
8	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
9	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
10	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
11	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
12	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00
13	Polyfelt.Rock PEC 55	1.46	1.08	1.00	1.03	1.00

Fig. 5.23. Factori de siguranță pentru geocompozitul Rock PEC 55

Parametrii referitori la valorile rezistențelor materialului geocompozit sunt:

\square_B - factor de siguranță = 1.30;

F_{adm} - rezistență admisibilă în geosintetic = $F_k/(A_1*A_2*A_3*A_4*A_5*v_B)$ [kN/m];

F_{VAct} - valoarea rezistenței la smulgere pe zona activa [kN/m];

F_k - valoarea caracteristică maximă a efortului axial [kN/m];

λ - Factor al unghiului de fricțiune dintre material geosintetic și umplutură [-].

Start geocompozit	x [m]	z [m]	Length [m]	\square_B [-]	F_{adm} [kN/m]	F_{VAct} [kN/m]	F_k [kN/m]	λ [-]
1	1.00	6.00	5.29	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
2	0.92	5.50	5.26	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
3	0.83	5.00	5.24	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
4	0.75	4.50	5.21	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
5	0.67	4.00	5.19	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
6	0.58	3.50	5.17	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
7	0.50	3.00	5.14	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
8	0.42	2.50	5.12	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
9	0.33	2.00	5.10	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
10	0.25	1.50	5.07	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
11	0.17	1.00	5.05	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
12	0.08	0.50	5.02	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00
13	0.00	0.00	5.00	1.30	26.05	0.00	55.00	1.00

Verificarea armăturilor la smulgere în zona activă și pasivă, este dată de termenii:

L_{Pass} - lungimea de armatură în zona pasivă [m];

L_{Act} - lungimea de armatură în zona activă [m];

216 Studiu de caz privind realizarea de terasamente armate cu geosintetice - 5

F_{Pass} - rezistența de smulgere în zona pasivă [kN/m];

F_{Act} - forța de smulgere în zona activă [kN/m],

luându-se în considerare pentru verificarea stabilității, valoarea minimă dintre rezistența de smulgere în zona pasivă și forța de smulgere în zona activă.

	Strat geocompozit	x	z	L_{Pass}	L_{Act}	F_{Pass}	F_{Act}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
1	Polyfelt.Rock PEC 55	1.00	6.00	4.47	0.82	26.05*	3.14
2	Polyfelt.Rock PEC 55	0.92	5.50	4.69	0.57	26.05*	3.50
3	Polyfelt.Rock PEC 55	0.83	5.00	4.93	0.31	26.05*	2.18
4	Polyfelt.Rock PEC 55	0.75	4.50	5.16	0.05	26.05*	0.07
5	Polyfelt.Rock PEC 55	0.67	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Polyfelt.Rock PEC 55	0.58	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Polyfelt.Rock PEC 55	0.50	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Polyfelt.Rock PEC 55	0.42	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Polyfelt.Rock PEC 55	0.33	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Polyfelt.Rock PEC 55	0.25	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Polyfelt.Rock PEC 55	0.17	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Polyfelt.Rock PEC 55	0.08	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Polyfelt.Rock PEC 55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

notă: * F_{adm} este valoarea determinantă.

Pentru stabilitatea externă s-a realizat:

1. Verificarea presiunilor pe teren și calculul capacității portante, considerându-se o suprasarcină provenită din încărcarea din trafic ușor de 11 kN/m².

Lățimea bazei fundației	$b = 5.10 \text{ m},$		
Excentricitatea	$e = 0.00 / -694.43 = 0.00 \text{ m}$		
Acțiunea în sămburele central	$e < b/6$ ($e < 0.85$)		
$\sigma_{Max} = -136.29 \text{ kN/m}^2, \sigma_{Min} = -136.29 \text{ kN/m}^2$			
Coeficienți ai capacității portante		14.72	14.72
	$N_{cr}, N_{dr}, N_d =$		7.29
Coeficienți datorăți înclinării rezultantei		0.82	0.82
	$i_{cr}, i_{dr}, i_d =$		0.69
Coeficienți datorăți înclinării terenului		0.93	0.87
	$\lambda_{cr}, \lambda_{dr}, \lambda_b =$		0.83
Lățimea masivului analizat			=21.47 m
Adâncimea masivului analizat			=6.27 m
Valoarea de calcul a încărcării verticale			$N_d = 838.1 \text{ kN}$
Valoarea de calcul a capacității portante a terenului de fundare			$R_d = 1768.8 \text{ kN}$
$N_d/R_d = 0.47 < 1.0$ - verificare îndeplinită!			

2. Verificarea stabilității la alunecarea pe talpă:

Suma forțelor [kN/m] orizontal vertical

Presiunea pe teren $F_{x,d} = -68.2$ $F_{z,k} = -694.4$ (la $z = 2.34$, $\alpha = 12.18$) $T_d/R_{td} = 68.2 / (694.4 * \tan(28.00) / 1.10 + 0.0) = 0.20 < 1.0$ - verificare îndeplinită!**3. Verificarea la răsturnare - stabilitatea locală a masivului de pământ armat**

Analiza iterativă variază, raza și centrul cercului care definește suprafața posibilă de alunecare stabilind cercul cu caracteristicile:

Centrul cercului (-3.02, 12.71), Raza = 13.08 m

Punct de pornire (-0.46, -0.11) și punct final = (8.75, 7.00) al suprafeței de cedare.

Contribuția armaturii geocompozite la stabilitatea masivului de pământ armat:

Strat $M_{retaining} = \text{distanța} * Z_{mob} =$

8 = 10.21 * 16.0 = 163.1 kNm/m

9 = 10.71 * 26.0 = 279.1 kNm/m

10 = 11.21 * 25.9 = 290.9 kNm/m

11 = 11.71 * 25.9 = 303.9 kNm/m

12 = 12.21 * 26.0 = 318.1 kNm/m

13 = 12.71 * 0.2 = 2.5 kNm/m

.....
Suma $M_{retaining}$: 1357.6 kNm/mMomentul destabilizator $E_d = 365.5 * 13.1 + -0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 4780.8$ kNmMomentul stabilizator $R_d = 352.8 * 13.1 + 1357.6 = 5972.7$ kNm $E_d/R_d = 0.80 < 1.0$ - verificare îndeplinită!**5.6. Concluzii**

Terasamentele armate cu geocompozite s-au impus ca și soluție în această lucrare, având o serie de beneficii dovedite și de aplicațiile și experiențele anterioare. Caracteristicile tehnice favorabile ale geocompozitului, privind comportarea la întindere, forfecare, dar și la compresiune, conferă structurii avantaje în raport cu soluțiile clasice prezentate anterior. Presiunea pământului într-un masiv armat se distribuie pe straturi multiple, astfel încât fiecare suprafață potențială de rupere este străbătută de mai multe elemente de armare, stabilitatea fiind astfel asigurată prin conlucrarea întregului sistem. Mărirea capacității portante, precum și reducerea tasărilor din greutatea proprie sunt de asemenea un aspect important al utilizării soluției de terasament armat.

Consultarea și studierea materialelor bibliografice, a publicațiilor și a normativelor existente asigură baza informațiilor, certitudinea concluziilor și corectitudinea dimensionării realizate și a beneficiilor constatate. Având de asemenea la dispoziție studiul geotehnic al amplasamentului și prin intermediul programului de calcul utilizat, datele introduse referitoare la caracteristicile terenului și ale geocompozitului de armare, au fost luate în calcul în detaliu și conform realității.

6. CONCLUZII FINALE

6.1. Concluzii generale

Domeniul vast al utilizării materialelor geosintetice este un subiect amplu de cercetare, datorită utilizărilor multiple a acestor materiale. Plecând de la materia primă de fabricare a geosinteticelor, până la modul lor de realizare sunt procese în continuă schimbare, încercându-se implementarea lor în tot mai multe tipuri și lucrări de construcții, acoperind roluri și funcții unitare sau compuse.

Tendința la nivel mondial este aceea de creștere a siguranței construcțiilor, fapt realizat prin dezvoltarea diverselor materiale de construcții, ce iau în considerare timpul de exploatare ridicat și economia de timp al punerii în operă cât și cea financiară.

În momentul actual sunt comercializate pe piața națională și internațională o gamă variată de geosintetice, care acoperă diverse roluri și funcțiuni având în vedere evitarea mecanismelor de cedare și limitarea deformațiilor elementelor în care sunt încorporate. Scopul utilizării materialelor geosintetice este acela de a crește performanțele unei anumite construcții, dacă efectul benefic al acestora este considerat superior altor soluții clasice.

În România, cel mai mare procentaj al utilizării geosinteticelor se regăsește în construcții rutiere și feroviare, respectiv la lucrări aferente acestora, precum drenuri, sisteme de sprijiniri armate și taluzuri protejate. În domeniul lucrărilor de căi de comunicații terestre, marea majoritate a geosinteticelor, îndeplinesc atât rolul de armare a terasamentelor în vederea creșterii rezistenței și stabilității acestora, cât și pe cele de separare, etanșare și filtrare. Astfel la structuri rutiere sunt utilizate geosintetice special concepute, majoritatea fiind geocompozite cu caracteristici impuse în așa fel încât pe lângă rolul principal de armare, îndeplinesc și rolul de etanșare a straturilor bituminoase, împiedicând astfel propagarea fisurilor dinspre straturile portante în exterior, sau infiltrarea apei în structura rutieră.

În cazul diverselor construcții amplasate pe pământuri dificile ca teren de fundare, frecvent se utilizează soluția de fundare directă pe suprafață prin intermediul pernelor de fundare, realizate în general din diverse materiale granulare. Pe lângă o bună compactare a materialului de umplutură din pernele de fundare, creșterea capacității portante și reducerea deformațiilor acestora se pot obține prin armare cu materiale geosintetice.

Structurile de sprijinire din pământ armate formează sisteme structurale pentru lucrări din domeniul civil, căi de comunicații, al amenajărilor hidrotehnice, deponeuri sau ca și componente ale unor lucrări de reabilitare. La armarea

pământului sunt folosite geocompozite de armare, geogriile sau în anumite cazuri geotextile. Sistemul de dirijare și drenare al apei sunt de asemenea eficient realizate cu ajutorul materialelor geosintetice fabricate cu caracteristici optime pentru filtrarea sau colectarea apei în planul dorit.

Depozitele de deșeuri sunt construcții a căror realizare nu se mai poate concepe fără utilizarea materialelor de etanșare ce intră în categoria geosinteticelor, numite geomembrane. Eficiența și siguranța cu care se poate exploata o astfel de lucrare realizată cu ajutorul materialelor specifice destinației unui depozit de deșeuri este asigurată de conceperea unor compozite etanșe sau a unor membrane ce asigură depozitarea unor materiale periculoase, în cele mai bune condiții.

Materialele geosintetice sunt elemente importante în multe domenii ingineresti, care necesită o dimensionare corectă și asigurarea unei conlucrări eficiente prin o bună alegere a geosinteticului compatibil cu pământului cu care intră în contact. Deoarece toate funcțiile acestor materiale se bazează pe conlucrarea constantă între acestea și materialul de umplutură, dimensionarea unei lucrări ce conține ca și parte integrantă un material geosintetic, trebuie să fie bazată pe alegerea conștientă și eficientă a sistemului geosintetic - pământ.

6.2. Contribuții personale ale autorului

Cele cinci capitole ale tezei parcurg tematica folosirii materialelor geosintetice în lucrările de inginerie geotehnică, începând cu materia primă, utilizată la fabricarea materialelor geosintetice și procedee de fabricare, trecând prin expunerea elaborată a tipurilor acestora, a funcțiilor și rolurilor îndeplinite precum și a unor particularități de folosire la diverse lucrări, completate cu încercări experimentale asupra unor variante de perne de fundare armate cu trei tipuri de material geosintetic și cu un studiu de caz, privind ranforsarea prin armare cu geosintetice a terasamentelor aferente unui pod rutier.

Ca prim pas, este prezentată o scurtă istorie a materialelor geosintetice, având la baza date reale legate de evoluția acestora pe plan internațional și național. Așa cum se întâmplă și în alte domenii, conceptul de armare a pământului se dovedește a fi unul vechi, ignorat pentru o perioadă lungă de timp. Și totuși, impulsul dat de H. Vidal a fost cel care a declanșat o revenire în forță a nevoii utilizării unui astfel de sistem. Bazându-se pe materiale plastice de genul polietilenei sau polipropilenei, ca materie primă, fabricanții și cercetătorii au reușit până în momentul de față să producă o paletă largă de geosintetice, acoperind tot mai multe domenii ale ingineriei construcțiilor prin diversele lor aplicații.

Definirea geosinteticelor ca material și enumerarea acestora în funcție de tipul lor, se extinde pe o mare parte a celui de-al doilea capitol. Sunt amintite toate variantele de materiale geosintetice existente și au fost clasificate conform literaturii actuale. Baza de date cuprinde exemple concrete și caracteristici tehnice ale materialelor geosintetice comercializate la momentul actual. Sunt enumerate și exemplificate datele necesare identificării geosinteticelor, din punct de vedere al

principalelor caracteristici cât și determinarea acestora în laborator. Este importantă clasificarea materialelor în funcție de rolul acestora și sublinierea caracteristicilor necesare îndeplinirii acestui rol. Cunoașterea proprietăților unui material din prisma funcției acestuia este esențială pentru alegerea corectă a unui geosintetic și coordonarea corectă a caracteristicilor acestuia cu scopul utilizării lui pentru o anumită construcție. Astfel identificarea materialelor geosintetice în funcție de caracteristicile tehnice, susținute valoric de teste normate prin reglementări naționale și internaționale, este o etapă decisivă în contribuțiile la studiul folosirii materialelor geosintetice în lucrări de inginerie geotehnică.

Referitor la multiplele aplicații ale geosinteticelor, în capitolul trei al tezei am aprofundat aspecte teoretice și practice, specifice folosirii geosinteticelor în trei sectoare importante ale domeniului ingineriei geotehnice, și anume: terasamente de drumuri și căi ferate, perne de fundare a construcțiilor pe terenuri slabe și depozite de deșeuri (deșeuri).

Terasamentele de drumuri și căi ferate sunt lucrări în care utilizarea geosinteticelor a devenit o soluție de succes, prin eficiența ridicată atât din punct de vedere tehnic cât și economic. Principiile generale de proiectare și execuție a terasamentelor reprezintă factorii decisivi în elaborarea cu succes a unui proiect. În aceste situații este imperios necesară cunoașterea cerințelor asupra caracteristicilor tehnice necesare ale materialelor geosintetice implicate atât în creșterea capacității portante și stabilității terasamentului, cât și în lucrări complementare, ca de exemplu sisteme de drenaj sau de protecție a taluzurilor prin acoperirea acestora cu georețele special concepute, pentru protecție antierozională.

Necesitatea executării unor construcții pe amplasamente cu terenuri slabe de fundare este o problemă des întâlnită în practica inginerescă. În aceste situații, în locul fundării indirecte, corespunzătoare tehnic dar costisitoare și mai dificil de executat, frecvent se aplică fundarea directă de suprafață. Prin îmbunătățirea prealabilă a terenului slab de fundare sau înlocuirea parțială și uneori totală a acestuia prin perne de fundare. Pernelle de fundare, respectiv pernele de fundare armate cu materiale geosintetice sunt variante accesibile și bine venite în multe astfel de situații, iar studiile asupra dimensionării și punerii în operă a acestora sunt prezentate la finalul capitolului trei. Unele din contribuțiile personale în acest sens sunt susținute de încercările experimentale efectuate în condiții de laborator pe modele de perne de fundare din nisip mare și mijlociu cu rar pietriș, armate în variantă simplă și dublă cu trei tipuri diferite de materiale geosintetice. Tasările înregistrate în urma încercărilor diferențiază comportarea pernei armate în funcție de materialul geosintetic folosit, dovedind că o bună corelare a tipului de material geosintetic cu pământul de umplutură folosit este esențială în realizarea cu succes a creșterii capacității portante și diminuarea tasărilor.

Depozitele de deșeuri reprezintă lucrări ample de inginerie geotehnică, care în momentul actual, nu se concep fără implicarea unei palete largi de materiale geosintetice, ce îndeplinesc funcții esențiale în stocarea în siguranță a deșeurilor generate de diverse surse industriale. Reglementările naționale au emis categorii concrete de departajare a deșeurilor generate din toate ramurile industriale, iar în

funcție de agresivitatea acestora, sunt implementate diverse variante de stocare a reziduurilor. Necesitatea și rolul deponeurilor este bine cunoscută, la noi în țară existând deja câteva asemenea construcții realizate după standarde internaționale. Importanța acestora este majoră, iar realizarea lor impecabilă este strâns legată de alegerea corectă a materialelor componente, dintre care, o bună parte o reprezintă geomembranele utilizate pentru impermeabilizarea unui container sau a unei suprafețe pe care este depozitat reziduul, geotextilele de protecție a membranei, geocompozitele sau geogriile de armare a taluzurilor sau elementelor de sprijinire acolo unde este cazul și nu în ultimul rând a georețelelor sau geocelulelor de protecție a taluzurilor împotriva eroziunii de suprafață.

Geomembranele și geocompozitele bentonitice sunt materiale specifice deponeurilor. Cercetarea lor amănunțită prin cunoașterea caracteristicilor tehnice și a funcțiilor derivate din acestea este extrem de importantă pentru înțelegerea conlucrării acestora cu alte elemente componente ale unui depozit de deșeuri. Etanșarea materialelor depozitate și sigilarea suprafeței deponeurilor sunt etapele cruciale ce trebuie realizate fără cusur în pașii execuției unui depozit de deșeuri. Exemple de soluționare a acestor etape sunt explicate în partea finală a capitolului trei.

În capitolul patru este expusă o imagine de ansamblu asupra metodelor de calcul a stabilității masivelor de pământ pentru a putea vedea diferențele ce intervin în verificarea stabilității terasamentelor armate cu geosintetice. Astfel, aceste diferențe sunt legate de verificarea la smulgere și cedare a materialelor geosintetice, care aparțin verificării stabilității interne, iar verificarea stabilității externe a unui masiv armat este percepută în același mod ca și în situațiile nearmate. Pentru exemplificare este redată aplicarea metodei Fellenius la verificarea stabilității terasamentelor armate cu geosintetice. O altă abordare este utilizarea programelor de calcul, indispensabile la momentul actual, programe ce au implementate normele în vigoare asupra calculelor de verificare și dimensionare. Programe de acest gen, au o bază de date amplă asupra materialelor geosintetice și a factorilor de siguranță ce trebuie inserați în calcul. Spre exemplu este detaliat calculul pe baza programului DC-Geotex, ce înlesnește dimensionarea și verificarea stabilității masivelor de pământ armat cu diverse variante de parament. Programul se dovedește a fi unul de mare ajutor, ușurând abordarea unui astfel de sistem din punct de vedere al calculelor.

Pornind de la utilitatea programului de calcul, am detaliat în capitolul cinci un caz privind realizarea de terasamente armate cu geosintetice la construcția unui pod rutier din județul Timiș. Soluția tehnică de terasament ranforsat prin armare cu geocompozit a fost varianta optimă aleasă dintre alte soluții constructive clasice. Armarea cu geocompozit s-a dovedit a fi optimă situației date, rezultând un terasament încadrat bine în peisajul rural, cu costuri optime și o perioadă de execuție favorabilă.

În concluzie la cele prezentate în acest paragraf și unor concluzii parțiale și considerații subliniate pe parcursul tezei, contribuțiile personale se pot sintetiza în:

- prezentarea stadiului actual de dezvoltare și utilizare a materialelor geosintetice la lucrări de construcții, inclusiv a modului de evoluție în timp, atât ca material cât și al domeniilor și ariei de utilizare;
- efectuarea unui studiu aprofundat privind caracterizarea tehnică a materialelor geosintetice, începând cu materia primă folosită la fabricare, tehnologii și procedee de fabricare, tipuri de geosintetice, funcții și caracteristici ale acestora;
- analiza unor aspecte teoretice și practice privind folosirea eficientă a materialelor geosintetice la trei categorii importante de lucrări de inginerie geotehnică, respectiv: terasamente de drumuri și căi ferate, perne de fundare directă de mică adâncime a construcțiilor situate pe amplasamente cu teren slab de fundare și deponeuri;
- efectuarea de încercări experimentale pe modele de perne de fundare, realizate din material granular și armate cu trei tipuri de materiale geosintetice, pe care s-au urmărit comparativ raportul de capacitate portantă și reducerea tasărilor pernelor, datorate armării cu geosintetice;
- sistematizarea unor considerații și principii de analiză și calcul a rambleurilor armate cu geosintetice referitoare la: metode de calcul și particularități ale verificării stabilității interioare și exterioare, inclusiv etape de calcul cu programul DC-Geotex;
- efectuarea și prezentarea unui studiu de caz privind folosirea geosinteticelor pentru armarea terasamentelor aferente unui pod rutier, unde am fost direct implicată în calitate de colaborator al firmei proiectante, concretizând și completând unele concluzii și constatări din teză.

La aceste contribuții personale se poate adăuga elaborarea și publicarea unui număr de zece lucrări științifice pe tematica tezei de doctorat, cinci în țară și cinci în străinătate.

6.3. Direcții viitoare de cercetare

Dezvoltarea rapidă a tehnologiilor de fabricare a materialelor de construcții cât și apariția unor materii prime inovatoare oferă soluționarea unor probleme în ingineria geotehnică printr-o abordare aparte față de soluțiile clasice. În momentul de față, în România, primează ca și volum al construcțiilor, realizarea căilor de comunicații terestre ce implică lucrări complementare ample. Optimizarea soluțiilor din punct de vedere constructiv, economic și temporal, este o tendință ce se regăsește și în alte domenii ingineresti. Din acest motiv, materiale de genul geosinteticelor, se regăsesc tot mai des în soluțiile alese pentru creșterea capacității portante și stabilității terasamentelor, pentru drenarea și filtrarea apei sau pentru realizarea structurilor de sprijinire. Abordând și tematica reabilitării unor căi de comunicații existente, se ridică problema utilizării acestor materiale pe zone problematice restrânse, cum ar fi rosturile căii de rulare la drumuri, rosturile la poduri de șosea, din beton armat și beton precomprimat sau terasamentul căilor

ferate. În aceste domenii, studiile nu au acoperit întotdeauna întregul ciclu de exploatare a acestor sisteme, lăsând loc îndoielilor eficienței în timp a acestora, neexistând la fel de multă documentație ca și în alte domenii de utilizare a materialelor geosintetice. Deși există un normativ pentru execuția rosturilor din asfalt turnat în vederea asigurării continuității căii la podurile de șosea din beton armat și beton precomprimat (N. 118-2003), specificațiile asupra caracteristicilor tehnice a materialului geosintetic nu sunt ușor de calculat sau de intuit, lipsind unele încercări experimentale asupra materialului supus la mișcările dinamice, ce apar la rosturi cu deplasări maxime de 15 mm. Deși normativul prevede folosirea geogriurilor cu ochiuri pătrate cu laturile de la 14 x 14 mm sau 40 x 40 mm cu grosime de 2,2 mm, cu o rezistență la tracțiune mai mare de 20 kN/ml și o alungire la rupere mai mare de 3%, nu trebuie exclusă posibilitatea utilizării unui geocompozit pentru îndeplinirea aceleiași funcții.

Este necesar din acest punct de vedere aprofundarea fenomenelor de oboseală la ciclurile traficului pentru exploatarea acestui domeniu și implementarea a noi soluții de utilizare a materialelor geosintetice și în aceste situații de nișă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Alexiew D., Piled Embankments: Overview of Methods and Significant Case Studies, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Ljubljana, Slovenia, pp. 185-192, 29-31 may, 2006.
- [2] Anton C., Stoica A., Boțu N., Soluții noi de stabilizare a versanților și de combatere a eroziunii solurilor, A XI-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Timișoara, pp.683-691, 18-20 septembrie 2008.
- [3] Antonescu I., Manea S., Jianu L., Unele aspecte ale proiectării saltelelor geocelulare. Primul Simpozion Național de Geosintetice, GeoSint '98, UTCB, iunie 1998.
- [4] Arad V., Bogdan I., Geotehnică și fundații, Editura Solness, Timișoara, 2001.
- [5] Aschauer F., Wu W., Investigation of the behavior of geosynthetic/soil systems unreinforced-soil structures, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Ljubljana, Slovenia, pp. 193-197, 29-31 may, 2006.
- [6] Atalar C., Das B.M., Shin E.C., Stress distribution under a geogrid-reinforced granularpad – an experimental observation, Proceedings of the 14th European Conference on SoilMechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, pp.1411-1416, 24-27 September 2007.
- [7] Atkinson J., An Introduction to The Mechanics of Soil and Foundations, McGraw-Hill International Series in Civil Engineering, 1993.
- [8] Aydogmus T., "Die rolle der modernen Geokunststoffe bei der Baugrundverbesserung - Anwendungspraxis & Prüfmethode" in Geotechnik-Kolloquium Innovative Bodenverbesserung & Verbundbauwerke- Injektionen -Rüttler - Geokunststoffe & mehr, H. Klapperich, Ed., no. 2., Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg, pp. 243– 275, 2005.
- [9] Aydogmus T., Klapperich H., Alexiew D., Laboratory testing of interaction performance of PVA geogrids embedded in stabilized cohesive soils, Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 24-27 September 2007, pp. 1417-1420.
- [10] Baker R., Determination of the critical slip surface in slope stability computation, International Journal for Numerical and Analytical methods in Geomechanics, 1980, pp. 333-395.
- [11] Baker R., Garber M. (1978), Theoretical analysis of the stability of slopes. Geotechnique,1978, pp. 395- 411.
- [12] Bakrač M., Schöer S., Mechanically stabilized earth wall reinforced with Fortrac geogrids - Crossroad over the Motorway E75, Belgrade, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 may, 2006, Ljubljana, Slovenia, pp.199-202.
- [13] Batali L., Geocompozite bentonitice, București, Conspress, 1999.
- [14] Batali L., Calculul lucrurilor de susținere, Editura Conspress, București.
- [15] Benson C., Linersand covers for waste containment, Proceedings of the Fourth Kansai International Geotechnical Forum, Creation of a new Geo-Environment, Kyoto, Japan, 2000.

- [16] Berthelot P., Durand F., Frossard A., Glandy M., Concrete foundation slab and soil modulus application to soil reinforcement by inclusions, analysis of the spreading fill behavior, Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 24-27 September 2007, pp. 1425-1432.
- [17] Blaga V., Curs 5. Ecopedologie - Formarea și alcătuirea profilului de sol, București 2002.
- [18] Blondeau F., Les methodes d'analyse de stabilite, Bull. Liaison Lab.P. et Ch., Paris, Num. special, II (Versants naturels), mars, 1976.
- [19] Bobei M., Măsuratori de laborator privind obținerea coeficienților de frecare dintre pământ-material geosintetic pentru punerea în evidența a interacțiunii, UTCB, București, 2010.
- [20] Boldurean A., Contribuții privind studiul stabilității masivelor de pământ - Teză de doctorat, Editura Politehnica, Timișoara, 2008.
- [21] Boldurean I.P., Boldurean A., Metodă de calcul a stabilității taluzurilor la suprafața de alunecare, Zilele Academice Timișene, Simpozionul "Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre", Ediția a VII-a, vol.II, Editura Solness, Timișoara, 2001.
- [22] Boți N., Stanciu A., Cuantificarea potențialului de alunecare a versanților din intravilan, Zilele Academice Ieșene, Iași, 1999.
- [23] British Standards Institution, BS 8006: Code of practice for Strengthened/Reinforced soils and other fills. BSI, London, 1995.
- [24] Cavalera L., Brancucci A., Seismic design of geosynthetic reinforced slopes, pp. 427-432. Geosynthetics: Application, Design and Construction, De Groot, Den Hoedt, Termaat (eds.), Balkema, Rotterdam, 1996.
- [25] Chia-Nan Lin, Yu-Hsien Ho, Jian-WennHuang, Large scale direct shear tests of soil/PET-yarn geogrid interfaces, Science Direct, 2008.
- [26] Chiorean C.G., Aplicarea metodei elementelor finite în calculul geotehnic. Aplicatia GFAS, Curs online, <http://bavaria.utcluj.ro/~ccosmin>.
- [27] Chiorean C.G., Geostru software, GFAS Finite Element Systems for Geotechnical applications, Theoretical and User Manual 2010 www.geostru.com.
- [28] Chiorean C.G., GFAS Theoretical and User manual.
- [29] Ciopec A. Contribuții privind studiul stabilității masivelor de pământ, pag. 76-79, Editura politehnica, 2008.
- [30] Cuteanu E., Marinov R., Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor, Editura Facla, Timișoara, 1980.
- [31] Daniel D.E., Clay liners, Geotechnical practice for waste disposal, Edited by D.E. Daniel, London, Marea Britanie, Chapman & Hall, 1993.
- [32] Daniel D.E., Landfills and impoundments, Geotechnical practice for waste disposal, Edited by D.E. Daniel, London, Marea Britanie, Chapman & Hall, 1993.
- [33] Davis R. O., Desai C.S., Smith N.R., Stabyliti motions of translational slides, Div. ASCE, 101 (2), pag. 147-165, 1993.
- [34] Deutschen Gesellschaft fur Geotechnik, Empfehlung fur den Entwurf und die Berechnung von Erdkorper mit bewehrungen aus geokunststoffen - EBGEO, Ernst&Sohn Verlag, 2010.
- [35] Droașcă L., Contribuții la studiul condițiilor de stabilitate și rezistență a terasamentelor de cale ferată - Teză de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2006.

- [36] Fedorovski V.G., Tree methods of slope stability analysis, X-th ICSMFE vol.1, Stockholm, 1981.
- [37] Feodorov V., Pământ armat cu geosintetice, Ed. Academiei Române, București, 2003.
- [38] Feodorov, V., Studiul comparativ între soluțiile construcțiilor rigide și elastice. Referatul nr. 2, FIFIM București, 1995.
- [39] Floss R., Bräu G., Geotextilien in Baufahrstraßen. 1. Kongreß Kunststoffe in der Geotechnik, K-GEO S. 55-68, Hamburg 1988.
- [40] Floss R., Bräu G., Nußbaumer M., Laackmann K., Geotechnical Engineering with Geosynthetics, Proceeding of The Third European Geosynthetics Conference, Munich, Germany, 01-03 March 2004, Volume 1.
- [41] Flum D., Rügger R., Dimensioning of flexible surface stabilization systems made from high-tensile wire meshes in combination with nailing and anchoring in soil and rock, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 may, 2006, Ljubljana, Slovenia, pp. 887-892.
- [42] Gazdaru A., Manea S., Feodorov V., Batali L., Geosinteticele în construcții – Proprietăți, utilizări, elemente de calcul, București, Editura Academiei Române, 1999.
- [43] Giroud J.P., Equations for calculating the rate of liquid migration through composite liners due to geomembrane defects, Geosynthetics International, Vol. 4, No. 3-4, 1997.
- [44] Giroud J.P., Houlihan M.F., Design of leachate collection layers, Proceedings of the 5th International Landfill Symposium, Sardinia, Santa Margherita, Cagliari, Italia, 1995.
- [45] Giroud J.P., The Contribution of Geosynthetics to the Geotechnical Aspects of Waste and Liquid Containment, Lecture at Landfill, South Africa 2005.
- [46] Gourc J.P., Retaining structures with geosynthetics: A mature technique, but with some questions pending, pp. 27-44. Geosynthetics: Application, Design and Construction, De Groot, Den Hoedt, Termaat (eds.). © 1996, Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 8363.
- [47] Gradin V., Stabilitatea terasamentelor de cale ferată, vol. I, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, 1964.
- [48] Gruia A., Studii privind ranforsarea rambleurilor cu materiale geosintetice, Zilele Academice Timișene - 1995, pg. 290...295, Editura Mirton Timișoara.
- [49] Guler E., Ozturk T.E., A parametric study of seismic response analysis of reinforced soil retaining structures with Plaxis, Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 24-27 September 2007, pp. 1451-1456.
- [50] Gulvanessian H., Holicky, Designer's handbook to Eurocode1. Part .1: Basis of design, 1996.
- [51] Haida V., Contribuții la studiul comportării pământurilor solicitate dinamic și folosirii tehnicii vibrării în geotehnică, Teza de doctorat, I.P. "Traian Vuia", Timișoara, 1979.
- [52] Haida V., Geologie, geotehnică și fundații - Elemente de geologie și geotehnică, I.P. Traian Vuia", Timișoara, 1981.
- [53] Haida V., Geologie, geotehnică și fundații - Mecanica pământurilor, I.P. "Traian Vuia", Timișoara, 1982.
- [54] Haida V., Marin M., Geotehnică, Universitatea Tehnică Timișoara, 1994.
- [55] Haida V., Marin M., Mirea M., Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004.

- [56] Herman A., Herman C., Cara P., Considerații privind particularitățile lucrărilor de întreținere a liniilor de cale ferată, Zilele Academice Timișene, Ediția a IX-a, Timișoara, 2005.
- [57] Herman A., Kazinczy L., Căi ferate - Infrastructura, Editura Mirton, Timișoara, 2011.
- [58] Herman A., Stoicescu G., Herman C., Cara P., Căi ferate. Elemente de proiectare, construcție, întreținere și exploatare, Editura Mirton, Timișoara, 2003.
- [59] Herteen G., Klompaker J., Interactive geotechnical design with geosynthetics for the covering of sludge lagoons and tailings ponds, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 may, 2006, Ljubljana, Slovenia, pp.427-432.
- [60] Hila V., Radu C., Ungureanu C., Stoicescu G., Căi ferate, Editura Institutului de Construcții București, 1975.
- [61] Hirt R., Geotextilien im forstlichen Ingenieurwesen, Vorlesungsautographie, ETHZ, Zürich, 1990.
- [62] Hosny Abdel Rahman A., M.Abdel-Moniem Ibrahim, Alaa K. Ashmawy, Utilization of a large-scale testing apparatus in investigating and formulating the soil/geogrid interface characteristics in reinforced soil, ISI-net Publication, 2007.
- [63] Iliescu M., Geosintetice, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1994.
- [64] Ilieș N., Consolidarea fundațiilor, Editura UT PRESS, Cluj-Napoca, 2009.
- [65] Ilievski D., Dimitrievski L., Ilivieska E.S., Dynamic analyses of pavement construction under traffic loading, Proceedings of the 14th European Conference on Soil 11 Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 24-27 September 2007, pp. 1463-1468.
- [66] Interessenverband Geokunststoffe e.V. – IVG, Geokunststoffe, <http://www.ivgeokunststoffe.com/>, 2009.
- [67] Martin Kohler, Geotextilrobustheitsklassen: Eine praxisnahe Beschreibung der Robustheit von Vliesstoffen und Geweben gegenüber Einbaubeanspruchungen für www.geo-site.com, 2007.
- [68] Kellner L., Gazdaru A., Feodorov V., Geosinteticele în construcții-Vol.1. Editura Inedit, București, 1994.
- [69] Kleiner Joachim, Technik im Landschaftsbau Geotextilien, Rapperswil, Hsr, 2000.
- [70] Koerner R.M., Designing with geosynthetics – 3rd edition, New Jersey, U.S.A., Prentice Hall, 1994.
- [71] Kraiovan M., Costecu I., Lucaci GH., Bancea C, Berberich W., Căi de comunicații terestre, I.P. „Traian Vuia”, Timișoara, 1985.
- [72] Gheorghe Lucaci, Florin Belc, Cornel Bancea, Ciprian Costescu, Drumuri. Elemente de proiectare, Editura Politehnica Timișoara, 2010.
- [73] Lungu I., Stanciu A., Boți N., Probleme Speciale de Geotehnică și Fundații, Editura Junimea, Iași, 2002.
- [74] Manassero M., Benson C.H., Bouazza A., Solid waste containment systems, Proceedings of GeoENG2000, Melbourne, Australia, A.A. Balkema, 2000.
- [75] Manassero M., Shackelford C.D., The role of diffusion in contaminant migration through soil barriers”, Rivista Italiana di Geotecnica, Nr. 1/1998.
- [76] Manea S., Batali L., Lucrările celui de-al II-lea Simpozion National de Geosintetice, GEOSINT, București, 15-16 Octombrie 2002.
- [77] Manea S., Batali L., Popa H., Mecanica pământurilor. Elemente de teorie. Încercări de laborator. Exerciții. București, Editura Conspress, 2003.

- [78] Manea S., Contribuții la studiul stabilității versanților care prezintă fenomene de cedare progresivă, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții, București, 1988.
- [79] Manea S., Evaluarea riscului de alunecare. București, Editura Conspress, 1998.
- [80] Manea S., Jianu L., Geotehnica mediului Înconjurator, Protecția terenurilor de fundare și depoluarea lor, Soluții de depozitare a deșeurilor, Universitatea Tehnică de Construcții București.
- [81] Manoliu I., Fundații și procedee de fundare, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1973.
- [82] Manoliu I., Marcu A., Eurocode 7, Exemple de calcul, Tempus Phare Complementary Measures Project 01198, Implementing of Structural Eurocodes in Romanian Civil Engineering Standards, Bridgeman Ltd., Timișoara, 1997.
- [83] Manualul utilizatorului – DC GEOTEX/DC GABION- DC SOFTWARE www.dcsoftware.com.
- [84] Marcu A., Fundații speciale, Cercetarea terenului de fundare și determinarea caracteristicilor geotehnice de calcul. Institutul de Construcții, București, 1983.
- [85] Mușat V., Geotehnică, Editura Gh. Asachi, Iași 2003.
- [86] Müller-Rochholz J., Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau, Düsseldorf, Werner Verlag, 2005.
- [87] Németh Gy., Scharle P., Szepesházi R., Innovative geotechnical structures – importance of the kinematic analysis, Proceedings of The XIII-th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 may, 2006, Ljubljana, Slovenia, pp. 657-660.
- [88] Nicolescu L., Argila în construcția terasamentelor, Centrul de documentare și publicații tehnice al M.T.Tc, 1974.
- [89] Olinic E., Batali L., Stabilitatea pe pante a sistemelor de etansare – drenaj cu materiale geosintetice în cadrul depozitelor de deșeuri, Al II-lea Simpozion Național de Geosintetice -GeoSINT 2002, Conspress, Bucuresti, 2002.
- [90] Olinic E., Contribuții la realizarea sistemelor de etanșare ale depozitelor de deșeuri, UTCB, Facultatea de Hidrotehnică, Catedra de Geotehnică și Fundații, București, 2010.
- [91] Popa A., Farcaș V., Geotehnica, UT Press, Cluj Napoca, 2004.
- [92] Popa A., Ilieș N., Materialele geosintetice – combinații și alternative. Studiu de caz la realizarea unei platforme, în localitatea Dezmir, județul Cluj - Al III-lea Simpozion National de Geosintetice, Mai 2007, București, Romania.
- [93] Popa Ovidiu Traian, Volumul I- Geografiei fizice a României, Ed. Academiei României 1983. sursa: <http://www.chimiamediuului.ro>.
- [94] R.E.F.E.R, Sporirea portanței terasamentelor, a stratului de formă și consolidarea prin armare a taluzelor utilizând geogriile și geotextile, București, 1995.
- [95] Radu A., Studii asupra folosirii pământului armat în lucrări de construcții, Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi", Iași, 2010.
- [96] Rajagopal K., Bathurst R.J., Parametric Finite Element Investigation of Reinforced Soil Retaining Walls, Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 1994.

- [97] Răileanu P., Mușat V., Tibichi E., Alunecari de teren – studiu și combatere, Casa de Editura Venus, Iași, 2001.
- [98] Reza Ziaie Moayed, Mehrad Kamalzare, Influence of geosynthetic reinforcement of shear strength characteristics of two layer subgrade, Bratislava Conference, 2010.
- [99] Reza Ziaie Moayed, Moeen Nazari, Effect of geosynthetic inclusion on bearing ratio of two layered soil, Bratislava Conference, 2010.
- [100] Roman F., Aplicații de inginerie geotehnică, Ed. Papyrus Print, Cluj Napoca 2011.
- [101] Roman F., Babos V., Varianta ocolitoare Cluj-Est. Soluții sprijinire taluze, A XI Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Timișoara 2008.
- [102] Roman Luiza, Roman O., Punerea în operă a unor variante de construcții de susținere din pământ armat, A XII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Iași 2012, Volumul 3, pag. 1073-1079.
- [103] Roman Luiza, Roman O., Geosynthetics reinforced retaining walls with vegetated facings, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012, volume II, pag. 111-115.
- [104] Roman Luiza, Ciopec Alexandra, Roman O., Possible deficiencies at application of geosynthetic materials in some retaining walls, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013.
- [105] Roman Luiza, Ciopec Alexandra, Roman O., Laboratory studies on sand with various geosynthetic reinforcement materials, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013.
- [106] Ruegger R., R. Hufenus, Bauen mit geokunststoffen, Schweizerischer Verband fur Geokunststoffe, 2003.
- [107] Stanciu A., Contribuții la dimensionarea lucrărilor din pământ armat, Teză de doctorat. Institutul Politehnic Iași, 1981.
- [108] Stanciu A., Lungu I., Fundații. București, Editura Tehnică, 2006.
- [109] Stoicescu G., Suprastructura căii ferate, Editura Conspress, București, 2009.
- [110] Strungă V., Drumul și geosinteticele, Compania Inedit, 2000.
- [111] Westsachsen Z.A., Querschnitt durch eine Deponie, Online Available: <http://www.zaw-wachau.de/cm/index.php?depquer>, 2009.
- [112] Wilmers W., Das neue Regelwerk für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus (TL Geok E-StB 05und M Geok E), Online Available: <http://www.gb.bv.tum.de/fachsektion/veroeffentlichungen/fs-geok-tl-kgeok-060312-wi.pdf>, 2006.
- [113] -***- ASTM D 5494-93: Standard Test Method for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes. Ausgabe Jänner 1994.
- [114] -***- ASTM D3080-03 Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions, 2003.
- [115] -***- ASTM D4873-02 Standard guide for identification, storage and handling of geosynthetic rolls and samples, 2002.
- [116] -***- ASTM D5321-02 Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method, 2002.
- [117] -***- D4439-02 Standard terminology for geosynthetics, 2002.
- [118] -***- Distribuția geografică a principalelor depozite de deșuri industriale în România, în 2002, Institutul European din România, Studiu de impact.
- [119] -***- EUROCODE 7.

- [120] -***-Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau: Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus, Ausgabe 1994.
- [121] -***- GP 093-06 Fundații-Vol.5. Ghid privind proiectarea structurilor de pământ armat cu materiale geosintetice și metalice. București, Editura Matrix Rom, 2007.
- [122] -***- NP 075-2002 Fundații-Vol.4. Normativ pentru utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții. București, Editura matrix Rom, 2007.
- [123] -***- Normativ tehnic privind depozitarea deșeurilor, Noiembrie 2004.
- [124] -***- ÖNORM EN 918: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Dynamischer Durchschlagversuch (Kegelfallversuch); Ausgabe Februar 1996, EN ISO 12236: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte Stempel- durchdruckversuch. (CBR-Versuch); Ausgabe Mai 1996.
- [125] -***- ÖNORM B4417: Erd- und Grundbau; Untersuchung von Böden; Lastplattenversuch. Ausgabe 1979.
- [126] -***- ÖNORM S 2076: Deponien - Dichtungsbahnen aus Kunststoff - Verlegung; Ausgabe 1993.
- [127] -***- ORDIN nr. 757 din 26/11/2004 pentru aprobarea Normativ tehnic privind depozitarea deșeurilor
- [128] -***- P 134 – 95 'Ghid pentru proiectarea lucrărilor ce înglobează materiale geosintetice'.
- [129] -***- P 134-95 Terasamente-Vol.1. Ghid pentru proiectarea lucrărilor ce înglobează materiale geosintetice. București, Editura Matrix Rom, 2009.
- [130] -***- RVS 8.24: Technische Vertragsbedingungen für Straßenbauten - Erdarbeiten; Ausgabe November 1979. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten; Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen.
- [131] -***- RVS 8.63: Straßenplanung - Bautechnische Details - Oberbaubemessung; Ausgabe Juli 1997. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten; Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen.
- [132] -***- RVS 8S.01.2: Technische Vertragsbedingungen - Baustoffe - Geotextilien im Unterbau; Ausgabe Oktober 1997. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten; Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen.
- [133] -***- RVS 8S.05.11: Technische Vertragsbedingungen - Oberbauarbeiten (ohne Deckenarbeiten) - Ungebundene Tragschichten; Ausgabe Juli 1997. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten; Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen.
- [134] -***- Sisteme moderne de drenare a terasamentelor de cale ferată, Centrul de documentare și publicații tehnice, București, 1966.
- [135] -***- SR EN ISO 12957 Geosintetice. Determinarea caracteristicilor de frecare. Încercarea de forfecare directă-Part.1, București, ASRO, 2007.
- [136] -***- SR EN ISO 14688 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor-Part.1 București, ASRO, 2004.
- [137] -***- SR EN ISO 14688 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor -Part.2 București, ASRO, 2005.
- [138] -***- STAS 10849 - 85, Infrastructura și suprastructura căii, ISR, 1985.
- [139] -***- STAS 1242/1 - 89, Teren de fundare - Principii generale de cercetare, ISR, 1989.
- [140] -***- STAS 1913/5-85 Determinarea granulozității. ISR, 1985.

- [141] -***- STAS 2914/4 - 89, Determinarea modului de deformare liniară, ISR, 1989.
- [142] -***- STAS 7582 - 91, Lucrări de cale ferată - Terasamente, ISR, 1991.
- [143] -***- STAS 8942/2-82 Determinarea rezistenței pământurilor la forfecare, prin încercarea de forfecare directă. Institutul roman de standardizare, 1985.
- [144] -***- STAS 9850 - 89, Verificarea compactării terasamentelor, ISR, 1989.
- [145] -***- Roman Luiza, Studiu privind folosirea în România a unor geosintetice la armarea îmbrăcăminților asfaltice, beneficiar TenCate Geosynthetics România, 2011 (material nepublicat)