



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSOANELOR VĂRSTNICE  
AMPOSDRU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OIPOSDRU



Universitatea Tehnică  
de Construcții București

## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

### Facultatea de Inginerie a Instalațiilor

*Titularul prezentei teze de doctorat a beneficiat pe întreaga perioadă a studiilor universitare de doctorat de bursă atribuită prin proiectul strategic „Burse oferite doctoranzilor în Ingineria Mediului Construit”, beneficiar UTCB, cod POSDRU/107/1.5/S/76896, proiect derulat în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane, finanțat din Fondurile Structurale Europene, din Bugetul Național și cofinanțat de către Universitatea Tehnică de Construcții București.*

# TEZA DE DOCTORAT

## Rezumat

*Contribuții la îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice cu aplicații în domeniul infrastructurii și ingineriei mediului*

### Doctorand

*Ing. Raluca Ioana A. CHIRICĂ*

### Conducător de doctorat

*Prof. univ. dr. ing. Lidia NICULIȚĂ*

**BUCUREȘTI**  
**2013**



UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CIVIL ENGINEERING  
OF BUCHAREST

Bd. LACUL TEI 124 + Sect. 2 RO-72302 + Bucharest 38 ROMÂNIA  
Tel. +40-1-242.12.08. Tel./Fax:+40-1-242.07.81

Nr. 8157/17.09.2013

Domnului/doamnei,

Vă facem cunoscut că în ziua de 27.09.2013, ora 09,30, în sala P 12 a Facultății de Inginerie a Instalațiilor a Universității Tehnice de Construcții București, Bdul.Pache Protopopescu nr.66, sector 2, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul: „Contribuții la îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice cu aplicații în domeniul infrastructurii și ingineriei mediului”

elaborată de drd. ing. CHIRICA A. Raluca-Ioana, în domeniul fundamental „Științe inginerești”, domeniul de doctorat „Inginerie industrială” cu următoarea componență:

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Sorin BURCHIU	Decan - Facultatea de Inginerie a Instalațiilor a Universității Tehnice de Construcții București
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. Lidia NICULIȚĂ	Facultatea de Inginerie a Instalațiilor a Universității Tehnice de Construcții București
Referenți	Prof.univ.dr.ing. Valentin FEODOROV	Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară din București - Facultatea de Îmbunătățiri Funciare și Ingineria Mediului
	Prof.univ.dr.ing. Nicolae BOȚI	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași
	Conf.univ.dr.ing. Mihaela STĂNCIUCU	Membri ai Academiei Oamenilor de Știință Universitatea din București

Vă înaintăm alăturat, un exemplar din rezumatul tezei de doctorat, rugându-vă să îl analizați și să întocmiți un referat, în două exemplare, care să conțină aprecieri generale analitice precum și concluzii temeinic motivate asupra valorii și admisibilității susținerii tezei.

Referatul va fi depus la secretariatul Rectoratului cel târziu până la data de 20.09.2013, pe adresa Secretariatului Rectoratului al U.T.C.B., din Bdul. Lacul Tei nr. 122 - 124, sector 2, București.

Vă invităm cu acest prilej să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR  
Prof.univ.dr.ing. Iohann NEUNER



Secretar șef universitate,

Prof.univ.dr.ing. Laurențiu RECE

## CUPRINS

<b>Introducere.....</b>	4
<b>Partea I. Studiu documentar privind stadiul actual de dezvoltare a domeniilor de utilizare a materialelor geosintetice.....</b>	4
Capitolul 1. Aspecte generale privind stadiul actual de utilizare a materialelor geosintetice.....	4
Capitolul 2. Analiza tipurilor de materiale geosintetice.....	4
Capitolul 3. Studiu privind funcțiile materialelor geosintetice.....	4
Capitolul 4. Analiza tipurilor de încercări pentru evaluarea caracteristicilor materialelor geosintetice.....	4
Capitolul 5. Analiza utilizării materialelor geosintetice.....	5
Capitolul 6. Concluzii ale studiului documentar și stabilirea planului de cercetare.....	5
<b>Partea a II-a. Cercetări experimentale privind stabilirea principalelor caracteristici ale sistemului pământ-material geosintetic.....</b>	5
Capitolul 7. Aparatura și metodologia utilizată pentru determinarea caracteristicilor materialelor geosintetice.....	5
Capitolul 8. Cercetări experimentale de performanță a sistemului pământ-material geosintetic.....	5
8.1. Studiul compatibilității hidraulice a componentelor sistemului pământ-material geosintetic.....	5
8.2. Studiul compatibilității mecanice a componentelor sistemului pământ-material geosintetic.....	8
8.3. Studiu privind caracteristicile de durabilitate ale sistemului pământ-material geosintetic.....	8
8.3.1. Încercarea de rezistență la fluaj.....	8
8.3.2. Încercarea de rezistență la acțiunea razelor UV.....	8
<b>Partea a III-a. Analiză multicriterială privind selecția optimă a materialelor geosintetice în funcție de tipul lucrărilor ingineresti.....</b>	9
Capitolul 9. Analiză multicriterială și optimizarea selecției materialelor geosintetice.....	9
9.1. Metode de optimizare multicriterială.....	9
9.2. Utilizarea metodelor de optimizare multicriterială pentru selecția materialelor geosintetice.....	10
9.3. Aplicația GeoSelect de selecție optimă a materialelor geosintetice.....	12
Capitolul 10. Cercetări experimentale privind armarea și drenajul haldelor de cenușă volatilă cu materiale geosintetice.....	14
<b>Partea a IV-a. Concluzii generale, contribuții proprii și valorificarea rezultatelor obținute în urma cercetărilor efectuate.....</b>	14
Capitolul 11. Concluzii generale.....	14
Capitolul 12. Contribuții proprii și valorificarea rezultatelor obținute în urma cercetărilor efectuate.....	15
<b>Bibliografie selectivă</b>	

**Cuvinte cheie:** materiale geosintetice, calitate, caracteristici, analiză multicriterială, selecție optimă

## **Introducere**

Utilizarea materialelor geosintetice are ca obiectiv principal îmbunătățirea comportării generale a pământurilor sau a altor materiale, sub acțiunea încărcărilor transmise de lucrările ingineresti. În acest context, necesitatea evaluării caracteristicilor materialelor geosintetice capătă un rol deosebit de important în activitatea de selecție a variantei optime pentru un anumit tip de structură inginerască. Pentru fiecare aplicație este important un set specific de caracteristici ale materialului geosintetic, în vederea asigurării eficienței și siguranței lucrării ingineresti.

Realizarea unor lucrări complexe în care se pot utiliza materialele geosintetice cu funcții diverse impune, pe de o parte, cunoașterea caracteristicilor acestora, iar pe de altă parte, existența unor sisteme viabile de clasificare a acestora. Drept urmare, obiectivul specific al prezentei teze de doctorat constă în îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice existente prin elaborarea unei metode de selecție obținute prin corelarea caracteristicilor acestora cu tipul aplicațiilor în care sunt utilizate.

## **Partea I. Studiu documentar privind stadiul actual de dezvoltare a domeniilor de utilizare a materialelor geosintetice**

### **Capitolul 1. Aspecte generale privind stadiul actual de utilizare a materialelor geosintetice**

Evoluția materialelor geosintetice pe plan internațional a fost una spectaculoasă, reprezentând în prezent o categorie specială de materiale de construcții, cu multiple funcții și posibilități de utilizare în numeroase domenii. În acest capitol se face o introducere în domeniul de specialitate aferent utilizării materialelor geosintetice și se prezintă tematica lucrării de doctorat.

### **Capitolul 2. Analiza tipurilor de materiale geosintetice**

În acest capitol sunt identificate principalele categorii de materiale geosintetice utilizate în mod curent în cadrul lucrărilor ingineresti. Dintre acestea, cele mai importante sunt următoarele: geotextilele, geogriurile, georețelele, geocelulele, geomembranele și respectiv, geocompozitele.

### **Capitolul 3. Studiu privind funcțiile materialelor geosintetice**

În cadrul acestui capitol se face o descriere detaliată a funcțiilor îndeplinite de materialele geosintetice în cadrul domeniilor de lucrări ingineresti existente. Cele mai reprezentative dintre acestea, considerate și în procesul de selecție, sunt următoarele: armare, filtrare, drenaj, separare, protecție și respectiv, barieră de fluid.

### **Capitolul 4. Analiza tipurilor de încercări pentru evaluarea caracteristicilor materialelor geosintetice**

Principalele tipuri de încercări pe materiale geosintetice aflate în concordanță cu funcțiile acestora sunt următoarele:

- *încercări de tip „index”*; aceste încercări de identificare furnizează caracteristicile standard garantate de către producător, însă pot fi determinate și în scopul comparării caracteristicilor de bază ale produselor; acestea nu furnizează valori utilizabile în activitatea de proiectare, însă constituie o bază de plecare în alegerea parametrilor necesari din punct de vedere calitativ;
- *încercări de performanță*, care presupun punerea în contact a geosinteticelor cu pământul din teren, în condiții standardizate în laborator sau chiar la scară mare, „in situ”; aceste testări reprezintă baza unei operațiuni corecte de selecție a materialului adecvat pentru un anumit tip de lucrare inginerască.

Toate încercările utilizate în mod curent pentru determinarea caracteristicilor materialelor geosintetice sunt descrise pe larg în teza de doctorat, atât cele de identificare, cât și cele care iau în calcul conclucrarea cu pământul sau alte materiale.

## **Capitolul 5. Analiza utilizării materialelor geosintetice**

În urma studiului documentar efectuat, am delimitat domeniile majore de utilizare a materialelor geosintetice, precum și funcțiile principale și secundare pe care acestea le îndeplinesc în cadrul lucrărilor ingineresti. Acestea sunt descrise detaliat în teza de doctorat, fiind centralizate în tabelul 5.1.

Tabel 5.1. Domeniile de utilizare a materialelor geosintetice și funcțiile îndeplinite de acestea

<b>Domenii de utilizare</b>	<b>Funcții</b>	<b>Material</b>
<b>Inginerie civilă</b>		
Lucrări de susținere	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție	geotextile, geogriile, georețele, geocelule, geocompozite
Îmbunătățirea terenului de fundare	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție	geotextile, geogriile, georețele, geocelule, geocompozite
Îmbunătățirea suprastructurii rutiere	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție	geotextile, geogriile, georețele, geocelule, geocompozite
Îmbunătățirea infrastructurii căilor de comunicații	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție, etanșare	geotextile, geogriile, georețele, geocelule, geocompozite, geomembrane
Lucrări hidrotehnice	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție, etanșare	geotextile, geogriile, georețele, geocelule, geocompozite, geomembrane
Filtre și drenuri	filtrare, drenaj, protecție	geotextile, georețele, geocompozite
<b>Ingineria mediului</b>		
Controlul alunecărilor de teren	armare, filtrare, drenaj, separație	geotextile, geogriile, georețele, geocompozite
Combaterea eroziunii solului	armare, filtrare, drenaj, separație, protecție, etanșare	geotextile, georețele, geocompozite
Etanșarea și controlul infiltrațiilor	etanșare, protecție	geotextile, geomembrane, geocompozite
Lucrări de drenaj	drenaj, protecție	geotextile, georețele, geocompozite

## **Capitolul 6. Concluzii ale studiului documentar și stabilirea planului de cercetare**

Pe baza studiului documentar efectuat, s-a conturat o viziune complexă asupra rolului materialelor geosintetice în domeniul ingineriei civile și respectiv, în ingineria mediului, precum și posibilitatea de îmbunătățire a calității acestora în exploatare, prin mijloacele unei activități de selecție adecvate scopului propus. Planul de cercetare aferent acestei teze de doctorat cuprinde atât cercetări experimentale de laborator, cât și elaborarea unei metode de selecție a materialelor geosintetice optime pentru funcțiile necesare în cadrul lucrărilor ingineresti.

### **Partea a II-a. Cercetări experimentale privind stabilirea principalelor caracteristici ale sistemului pământ-material geosintetic**

#### **Capitolul 7. Aparatura și metodologia utilizată pentru determinarea caracteristicilor materialelor geosintetice**

În acest capitol se prezintă aparatura și metodologiile de lucru utilizate în cadrul părții experimentale a acestei teze de doctorat. Determinările experimentale s-au desfășurat în laboratoare de specialitate aparținând Universității Tehnice de Construcții București, S.C. Geostud SRL și respectiv, Facultății de Îmbunătățiri Funciare și Ingineria Mediului București (F.I.F.I.M.).

### **Capitolul 8. Cercetări experimentale de performanță a sistemului pământ-material geosintetic**

#### **8.1. Studiul compatibilității hidraulice a componentelor sistemului pământ-material geosintetic**

Am efectuat o serie de cercetări experimentale de laborator pentru evaluarea comportării hidraulice a sistemului compozit pământ-geotextil, dar și pentru a putea analiza în mod detaliat capacitatea de filtrare și

## Contribuții la îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice cu aplicații în domeniul infrastructurii și ingineriei mediului

drenaj a geosinteticului utilizat, precum și riscul de colmatare a acestuia. În acest scop, am selectat două tipuri de pământ utilizat în contact cu 5 tipuri diferite de materiale geotextile neșesute în lucrările ingineresti, și anume: un material granular, de tipul unui nisip cu pietriș de neuniformitate medie și o valoare a coeficientului de permeabilitate de  $2,93 \times 10^{-2}$  cm/s și respectiv, un material fin de tipul unei cenuși volatile de neuniformitate foarte mare și o valoare medie a permeabilității de  $1,41 \times 10^{-4}$  cm/s. Pentru încercări am utilizat permeametrul cu pereți rigizi, pe care l-am conceput și pus în funcțiune urmând indicațiile standardului american ASTM D5101. Caracteristicile celor 5 tipuri de geotextile sunt prezentate în tabelul 8.1.

Tabel 8.1. Caracteristicile geotextilelor testate

Geotextil	Polimer	Structură	Masa specifică (g/m <sup>2</sup> )	Dimensiune pori (mm)	Grosime (mm)	Porozitate (%)	Permeabilitate (cm/s)
GTX 1	PP	Nt,CM-C	300	0,07	1,79	81,40	4,5
GTX 2	PP	Nt,CM-C	150	0,08	1,17	85,80	9,0
GTX 3	PET reciclat	Nt,CM	200	0,14	2,33	93,40	$5,6 \times 10^{-1}$
GTX 4	PET reciclat	Nt,CM	400	0,12	3,81	91,60	$5,9 \times 10^{-1}$
GTX 5	PET reciclat	Nt,CM	1000	0,07	5,47	85,90	$3,9 \times 10^{-1}$

Notă: PP=polipropilenă, PET=poliester, Nt=neșesut, CM=consolidat mecanic, C-calandrat

Pentru aprofundarea studiului privind compatibilitatea hidraulică a materialului granular cu geotextilul utilizat ca filtru, am parcurs și analizat criteriile de filtrare indicate în literatura de specialitate pentru geotextile, prezentate sintetic în continuare.

### ➤ *Criteriul de permeabilitate*

Criteriul de permeabilitate pentru filtrele din material geotextil impune condiția ca permeabilitatea geotextilului să fie mai mare decât cea a pământului cu care vine în contact. Acest criteriu este respectat de toate cele 5 geotextile analizate.

### ➤ *Criteriul de retenție*

Acest criteriu trebuie adaptat tipului de pământ aflat în contact cu geotextilul și este satisfăcut pentru toate cele 5 geotextile analizate.

### ➤ *Criteriul raportului de gradient și criteriul raportului de permeabilitate*

Raportul de gradient (RG) este definit ca raportul dintre gradientul hidraulic al sistemului compozit (pământ-geosintetic) și cel al pământului. Pentru studiul experimental al unui sistem format din cenușă și geotextil, urmărind anumite aspecte legate de fenomenele interne care pot avea loc în sistem, am luat în calcul un al doilea coeficient suplimentar, cel al raportului de permeabilitate ( $K_R$ ). Acesta se definește ca fiind raportul dintre coeficientul de permeabilitate al pământului și cel al sistemului pământ-geosintetic. În studiile de specialitate se recomandă ca RG și  $K_R$  să aibă o valoare mai mică decât 3, pentru evitarea producerii fenomenului de colmatare. Pentru fiecare dintre cele 5 geotextile analizate, am efectuat încercările de laborator pe o perioadă de 24 de ore pentru sistemul material granular-geotextil și respectiv, pentru sistemul cenușă-geotextil, în condițiile unui gradient hidraulic unitar. Valorile coeficientului de permeabilitate și cele ale RG și  $K_R$  pentru cele două sisteme în stare stabilizată, rezultate în urma încercărilor, sunt prezentate în tabelul 8.2. În continuare, am considerat că este necesară o evaluare complexă a celor două mărimi, pentru a putea diferenția cele 5 geotextile analizate, din punct de vedere al capacității de filtrare. Astfel, am elaborat un grafic de analiză criterială a celor 5 geotextile, grafic prezentat în figura 8.1.

Tabel 8.2. Rezultatele încercărilor de permeabilitate pentru sistemele analizate

Geotextil	Pământ	material granular		cenușă volatilă		
		$k_{\text{sistem}}$ (cm/s)	RG	$k_{\text{sistem}}$ (cm/s)	RG	$K_R$
GTX 1		$4,866 \times 10^{-1}$	1,10	$1,37 \times 10^{-3}$	1,11	2,28
GTX 2		$5,435 \times 10^{-1}$	1,11	$1,70 \times 10^{-3}$	0,60	1,44
GTX 3		$6,510 \times 10^{-1}$	1,02	$3,19 \times 10^{-3}$	0,46	1,69
GTX 4		$7,735 \times 10^{-1}$	0,95	$3,62 \times 10^{-3}$	0,17	1,64
GTX 5		$5,450 \times 10^{-1}$	0,94	$2,08 \times 10^{-3}$	0,29	2,08

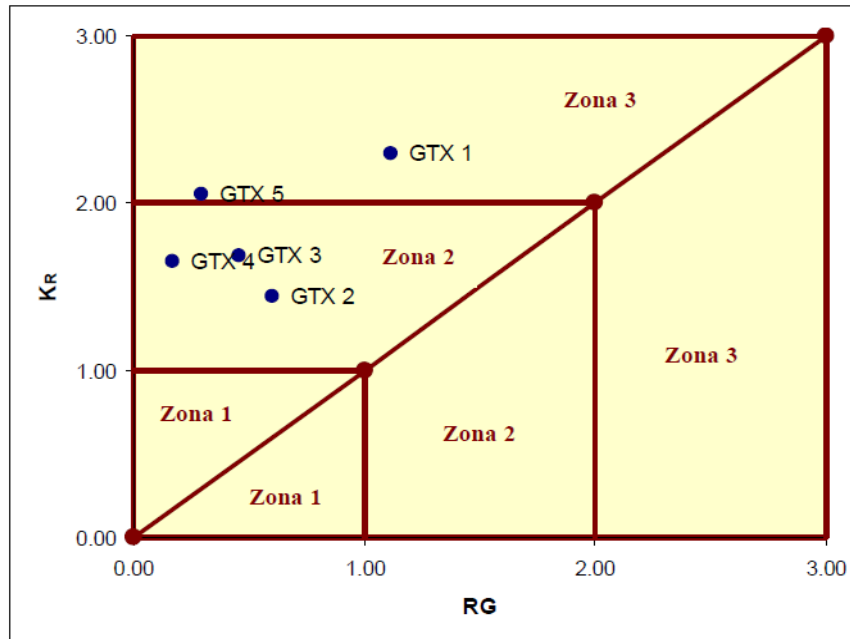


Figura 8.1. Compatibilitatea hidraulică a sistemului cenușă volatilă-geotextil

În graficul de mai sus, se pot observa 3 zone distincte care reunesc valorile lui RG și  $K_R$  și care reprezintă o formă de evaluare a caracteristicilor de filtrare ale geotextilelor analizate, după cum urmează:

- Zona 1, cea cuprinsă între 0 și 1, indică o permeabilitate mai mare a sistemului decât a cenușii, lucru care este benefic realizării drenajului prin sistem;
- Zona 2, cea cuprinsă între 1 și 2, indică o permeabilitate mai mare a cenușii decât a sistemului cenușă-geotextil, lucru care atrage după sine posibilitatea colmatării geotextilului; geotextilul își îndeplinește în continuare funcția de filtru; geotextilele GTX 2, GTX 3 și GTX 4, situate în această zonă, asigură un raport bun al coeficienților de gradient și permeabilitate;
- Zona 3, cea cuprinsă între 2 și 3, este o zonă similară zonei 2, însă cu risc mult mai mare de producere a colmatării, cauzat de valorile mari ale raportului de permeabilitate; drept urmare, geotextilele care se situează în această zonă (GTX 1 și GTX 5) trebuie studiate cu atenție mărită.

Pentru efectuarea de investigații suplimentare privind capacitatea de filtrare a geotextilelor în contact cu materiale fine, am utilizat aparatul triaxial cu rol de permeamtru cu pereți flexibili pentru analiza sistemului format dintr-o probă de cenușă volatilă și geotextilul notat cu GTX 5. În urma încercării a rezultat o valoare a coeficientului de permeabilitate de  $2,266 \times 10^{-5}$  cm/s pentru sistemul cenușă volatilă-geotextil. Această valoare este diferită ca ordin de mărime de cea obținută în urma încercării efectuate în permeamtrul cu pereți rigizi. Această diferență se poate datora atât modului de funcționare diferit al celor două instalații utilizate, cât și dimensiunii diferite a probelor. Explicații suplimentare privind diferența dintre cele două valori obținute cu cele două aparate diferite sunt redată pe larg în teza de doctorat.

Prin intermediul acestui studiu experimental de compatibilitate hidraulică a sistemului pământ-geosintetic, am evidențiat caracteristicile materialului geosintetic a căror evaluare este necesară în scopul unei selecții corecte și optime a materialului geosintetic utilizat cu rol de drenaj/filtrare în lucrările ingineresti.

## **8.2. Studiul compatibilității mecanice a componentelor sistemului pământ-material geosintetic**

În acest studiu experimental am efectuat o încercare de performanță, dedicată determinării rezistenței la forfecare a unei geogrilă aflate în contact cu un material granular, în scopul investigării eficienței armării pământului și a caracteristicilor necesare pentru atingerea performanțelor optime în timpul exploatarei.

Încercarea de forfecare directă a fost efectuată punând în contact o geogrilă cu rezistența maximă la tracțiune de 76,04 kPa cu un material granular de tipul unui pietriș de granulozitate neuniformă. Pentru a pune în evidență conlucrarea dintre materialul granular și geogrilă, am suprapus curbele efort-deformație obținute în urma încercării la tracțiune a geogrilă și respectiv, prin încercări de forfecare a materialului granular cu și fără geogrilă. La finalul studiului, am evidențiat rolul unei selecții corecte a materialului geosintetic care urmează a fi utilizat pentru lucrări de pământ armat.

## **8.3. Studiu privind caracteristicile de durabilitate ale sistemului pământ-material geosintetic**

### **8.3.1. Încercarea de rezistență la fluaj**

Pentru structurile din pământ armat cu durată mare de exploatare, este necesar să se ia în calcul comportamentul elementelor de armare la fenomenul de curgere lentă (fluaj). La ora actuală au fost propuse mai multe metode de încercare de fluaj ținând cont de interacțiunea pământ-geosintetic, însă fără a fi în final standardizate. Pentru realizarea acestei încercări, a fost adaptat aparatul de forfecare directă, prin adăugarea unui platan cu greutate care să asigure realizarea efortului normal constant pe probă. Peste casete a fost impus efortul unitar normal  $\sigma = 50$  kPa. Încercarea platanului s-a efectuat gradual în mai multe zile și a fost înregistrată evoluția în timp a deplasărilor în funcție de efortul impus.

Cercetările din literatura de specialitate indică o diferență a comportamentului polimerilor din care sunt realizate materialele geosintetice, din punct de vedere al fenomenului de curgere lentă. S-a constatat faptul că fluajul are un efect mai pronunțat asupra geosinteticelelor din polipropilenă sau polietilenă și mai redus asupra celor din poliester. Pentru a putea aprecia durabilitatea structurilor de pământ armat din punct de vedere al fluajului, este necesară determinarea efortului maxim de forfecare pe care acestea îl pot prelua fără a-și pierde stabilitatea.

### **8.3.2. Încercarea de rezistență la acțiunea razelor UV**

Geotextilul utilizat în cadrul acestor încercări este cel notat GTX 3, având caracteristicile descrise în tabelul 8.1. Pentru simularea radiațiilor UV în laborator, am introdus ca dată de intrare un nivel al radiației de 162 W/m<sup>2</sup>/zi, pentru o perioadă de 6 zile, timp în care a avut loc funcționarea aparatului pentru o serie de probe. Aceste valori corespund nivelului calculat al radiației UV pentru o perioadă de 6 luni în localitatea Aldeni, unde au fost amplasate ulterior bariere antierozionale din același geotextil în scopul completării studiului experimental.

Barierile antierozionale au rolul de a reține sedimentele antrenate de precipitații și de acțiunea vântului, reducând astfel efectele eroziunii de suprafață asupra terenurilor agricole, a apelor de suprafață și respectiv, asupra locuințelor din zonă. Barierele antierozionale de la Aldeni (figura 8.2) au fost realizate din același geotextil neșesut utilizat în încercările de determinare a rezistenței la radiații UV în laborator. Acesta a fost armat pe alocuri cu o geogrilă din PP, cu noduri sudate, având o rezistență la întindere de 40 kN/m. Pentru efectuarea încercărilor de permeabilitate am utilizat probe de pământ prelevate din locația unde au fost instalate barierele de sedimente, acesta fiind de forma unui nisip prăfos de granulozitate uniformă.

Pentru a putea evalua comportamentul materialului geotextil înainte și după expunerea la UV, am efectuat încercări de rezistență la întindere pe probe de geotextil în stare inițială și respectiv, după expunere la radiații UV în laborator/teren, precum și încercări de permeabilitate pentru sistemul compus din materialul



geotextil și pământul din teren. Valorile experimentale rezultate în urma încercărilor efectuate inițial, după expunere la UV în laborator și respectiv, după exploatare în teren sunt prezentate în tabelul 8.3.



Figura 8.2. Imagini ale celor trei cazuri de bariere, montate pe terenuri cu pante de 20%, 24% și respectiv, 50%

Tabel 8.3. Rezultatele încercărilor efectuate

Situație	Parametru	$R_{t(MD)}$ (kN/m)	$\epsilon_{MD}$ (%)	$R_{t(CMD)}$ (kN/m)	$\epsilon_{CMD}$ (%)	k (cm/s)
înainte de expunere la UV/punere în operă		4,954	97,5	5,11	117,7	$2,46 \times 10^{-5}$
după expunere la UV în laborator		5,910	87,1	6,29	104,3	-
după exploatare în teren		3,334	82,6	4,10	83,3	$1,45 \times 10^{-5}$

$R_{t(MD, CMD)}$ =rezistența la întindere pe direcția mașinii, respectiv pe direcție transversală  
 $\epsilon_{MD, CMD}$ = alungirea la rupere pe direcția mașinii, respectiv pe direcție transversală

În literatura de specialitate se consideră că un geotextil este stabil la acțiunea razelor UV dacă, după o expunere la UV de 500 de ore, prezintă o valoare a rezistenței la întindere de 70% din valoarea inițială. Rezultatele obținute pentru geotextilul expus la UV în laborator depășesc chiar valoarea inițială pe ambele direcții, iar cele obținute pentru geotextilul expus în teren sunt apropiate de această valoare pe direcția mașinii și o depășesc, pe direcție transversală.

Ca urmare a scăderii coeficientului de permeabilitate al sistemul pământ-geotextil în urma exploatării barierei antierozionale în teren, se poate afirma faptul că materialul geotextil suferă o colmatare parțială a suprafeței, fenomen care îi afectează capacitatea de a drena apa din precipitații pe termen lung, însă este adecvat unei utilizări temporare, de până la 6 luni.

### Partea a III-a. Analiză multicriterială privind selecția optimă a materialelor geosintetice în funcție de tipul lucrărilor ingineresti

#### Capitolul 9. Analiză multicriterială și optimizarea selecției materialelor geosintetice

Alegerea unui material geosintetic potrivit pentru o anumită aplicație este pe deplin influențată de funcțiile pe care acesta trebuie să le îndeplinească. Drept urmare, am considerat utilă elaborarea unei metode facile de selecție a materialelor geosintetice în funcție de tipul lucrării în care urmează a fi înglobate, ținând cont de caracteristicile calității acestora. Metoda de selecție propusă folosește instrumentele de decizii multiatribut în scopul determinării materialului optim a fi utilizat cu o anumită funcție. În urma prelucrării și interpretării rezultatelor experimentale obținute anterior, am particularizat sistemul general al calității în cazul materialelor geosintetice, ținând cont de specificul fiecărei aplicații ingineresti.

#### 9.1. Metode de optimizare multicriterială

Se poate afirma faptul că orice proces definit printr-un algoritm care are drept scop selecția unei variante optime în raport cu mai multe criterii, aparține unui model de decizii MADM ("Multi-Attribute Decision Making"). În cadrul modelelor MADM, variantele poartă denumirea de obiecte, iar criteriile sunt denumite atribute. În acest subcapitol se prezintă detaliat entitățile tipice ale modelului MADM, care sunt următoarele:

- *Mulțimea obiectelor*: Variantele posibile de luat în calcul în cadrul MADM;

- *Mulțimea atributelor*: Criteriile posibile de luat în calcul în cadrul MADM;
- *Matricea decizională*: Matricea decizională, denumită și matricea consecințelor, se formează astfel: pentru fiecare atribut  $a[j]$ , se asociază fiecărui obiect  $o[i]$  un vector reprezentând rezultatul evaluării acestui obiect în raport cu atributul considerat.

Luând în calcul modelul clasic al MADM descris prin entitățile menționate anterior, rămâne de rezolvat problema selecției obiectului optim în raport cu atributele corespunzătoare. Astfel, este necesară o departajare a obiectelor în funcție de gradul de satisfacere a atributelor. Acest lucru se poate realiza prin aplicarea unui algoritm de calcul care să permită o ierarhizare a obiectelor în funcție de eficiența obținută în raport cu fiecare atribut în parte. Am utilizat în acest scop varianta a doua a metodei Onicescu de calcul a meritelor, care cuprinde următorii pași:

*Pasul 0*: Se acordă importanțe absolute atributelor:  $imp\_a[j]$ ,  $(\forall) i = \overline{1, i}, j = \overline{1, j}$

*Pasul 1*: Se construiește matricea locurilor:

$$Loc\_oa = (loc\_oa[i, j])_{\substack{i=\overline{1, i} \\ j=\overline{1, j}}} \quad (9.1)$$

, unde  $loc\_oa[i, j]$  reprezintă locul ocupat de obiectul  $o_i$  în ierarhizarea dată de atributul  $a_j$ , conform sensului acestuia. În cazul în care două sau mai multe obiecte ocupă același loc în raport cu un atribut, locul imediat următor este ocupat de obiectul următor.

*Pasul 2*: Se calculează meritele obiectelor, cu formula:

$$merit\_om[i, m] = \sum_{j=1}^j \frac{imp\_a[j]}{2^{loc\_oa[i, j]}}, \quad (\forall) i = \overline{1, i} \quad (9.2)$$

## 9.2. Utilizarea metodelor de optimizare multicriterială pentru selecția materialelor geosintetice

Instrumentele metodelor de decizii multicriteriale MADM prezentate anterior oferă o bună soluție de rezolvare a problemei legate de selecția optimă a materialelor geosintetice, în condițiile existenței unui număr mare de obiecte, respectiv de atribute de luat în calcul.

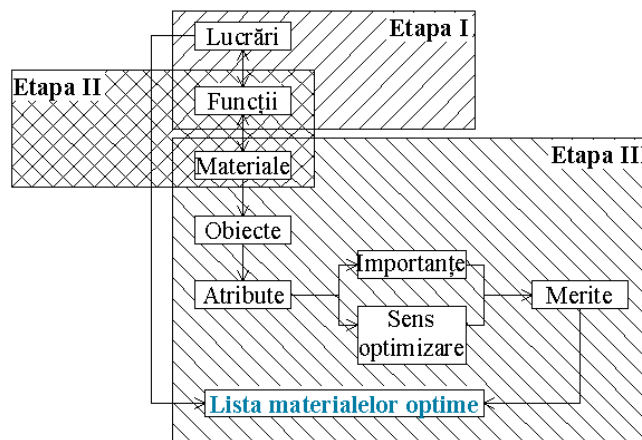


Figura 9.1. Schema procesului de selecție a materialelor geosintetice optime

Având în vedere instrumentele de calcul MADM (metoda Onicescu) și varietatea mare de posibilități de selecție în ceea ce privește materialele geosintetice disponibile pe piață, am identificat 3 etape principale necesar a fi parcurse în cadrul procesului de selecție optimă a materialelor geosintetice (figura 9.1), după cum urmează:

- *Etapa I*: selecția funcțiilor pe care materialele geosintetice trebuie să le îndeplinească în cadrul lucrărilor ingineresti; lucrările pot fi din domeniul ingineriei civile sau a ingineriei mediului, iar în cadrul acestora, materialele geosintetice pot îndeplini funcțiile de armare, filtrare, drenaj, separare, protecție, etanșare; funcțiile reprezintă astfel obiectivele de realizat în cadrul procesului de selecție;

## Contribuții la îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice cu aplicații în domeniul infrastructurii și ingineriei mediului

- *Etapa II:* selecția categoriilor de materiale geosintetice care pot îndeplini funcțiile necesare unui anumit tip de lucrare; acestea pot fi: geotextile țesute/nețesute, geogriile uniaxiale/biaxiale, georețele, geocelule, geomembrane, geocompozite etc.; toate aceste categorii au mulțimi de obiecte asociate;
- *Etapa III:* selecția materialelor optime pentru lucrarea propusă, pe baza calculului meritelor obiectelor; cea mai importantă componentă a acestei etape constă în identificarea valorilor celor mai importante caracteristici de comportare ale materialelor geosintetice (valorile atributelor); de asemenea, fiecărui atribut îi este alocată o valoare de importanță și un sens de optimizare (minim sau maxim).

Plecând de la modelul matematic MADM descris în subcapitolul 9.1, în continuare se prezintă principalele entități create în scopul analizei multicriteriale a materialelor geosintetice.

### ***Mulțimea obiectelor***

În cazul materialelor geosintetice, am considerat obiectele MADM ca fiind reprezentate de materialele geosintetice situate în aceeași categorie principală de materiale, dintre cele 10 identificate ca fiind principale în studiul documentar. Categoriile de materiale geosintetice luate în calcul (notate cu „M”) sunt prezentate în tabelul 9.1. Pentru fiecare dintre aceste materiale am identificat și funcțiile pe care acesta le poate îndeplini în cadrul unei lucrări ingineresti, acestea reprezentând obiectivele de realizat în modelul MADM. Aceste funcții sunt: armare, separare, drenaj, filtrare, protecție, etanșare. Pentru cele 10 categorii de materiale am identificat un număr diferit de obiecte, în funcție de cantitatea de informații avută la dispoziție.

Tabel 9.1. Categoriile principale de materiale geosintetice considerate în modelul MADM

<b>Acronim categorie</b>	<b>Materiale geosintetice</b>
M1	geotextile țesute cu funcția principală de armare
M2	geotextile țesute cu funcția principală de filtrare
M3	geotextile nețesute
M4	geotextile biodegradabile
M5	geogriile uniaxiale
M6	geogriile biaxiale
M7	geomembrane
M8	georețele
M9	geocelule
M10	geocompozite bentonitice

### ***Mulțimea atributelor***

În cazul materialelor geosintetice desemnate ca fiind obiecte, atributele sunt reprezentate de caracteristicile specifice ale acestora. Pe baza studiului documentar efectuat și analizând datele conținute de fișele tehnice ale materialelor geosintetice, am extras cele mai importante caracteristici ale materialelor geosintetice, importante pentru realizarea funcțiilor propuse în exploatare. De asemenea, pe baza cunoștințelor acumulate în urma studiului documentar și al celui experimental efectuat, am alocat fiecărui atribut în parte un sens de optimizare și un coeficient specific de importanță. Trebuie precizat faptul că toate atributele obiectelor din aceeași categorie de materiale sunt determinate prin aceleași metode și au aceleași unități de măsură.

### ***Matricea decizională***

Prin colectare de informații din fișe tehnice și broșuri de prezentare ale acestora; am alcătuit baze vaste de date care conțin valorile celor mai importante caracteristici de comportare a materialelor geosintetice, diferențiate pe categorii de materiale. Valorile caracteristicilor desemnate anterior ca fiind atribute reprezintă, în modelul MADM, elementele care formează matricea decizională. Toate aceste elemente, împreună cu o descriere a atributelor, a obiectelor și a funcțiilor asociate, sunt prezentate detaliat în teza de doctorat, pentru fiecare categorie de materiale geosintetice în parte. În tabelul 9.2 se prezintă matricea decizională obținută pentru materialele geosintetice din categoria M8-georețele.

**Contribuții la îmbunătățirea sistemelor calității materialelor geosintetice cu aplicații în domeniul infrastructurii și ingineriei mediului**

Tabel 9.2. Caracteristicile materialelor geosintetice din categoria M8 – georețele

<b>Georețele =</b>		produse cu structură plană deschisă, sub formă de rețea, formate din nervuri ce se intersectează sub diverse unghiuri (EN ISO 10318:2005)					<b>Funcții</b>
<b>Obiecte</b>	<b>Atribute</b>	<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>	<b>a4</b>	<b>a5</b>	
	<b>U.M.</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	<b>mm</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>kN</b>	<b>m<sup>2</sup>/s</b>	
	<b>Importanță atribut</b>	<b>10%</b>	<b>7%</b>	<b>3%</b>	<b>15%</b>	<b>65%</b>	
	<b>Valoare minimă</b>	1.40	5.0	0.94	7.9	0.002	
	<b>Valoare maximă</b>	3.00	8.6	0.95	17.0	0.010	
<b>Sens optimizare</b>	min	min	max	max	max		
<b>o1</b>	HDPE	1.40	5.0	0.94	7.9	0.002	<b>D</b>
<b>o2</b>	HDPE	1.45	6.3	0.94	9.6	0.003	
<b>o3</b>	HDPE	1.50	7.0	0.94	11.5	0.006	
<b>o4</b>	HDPE	2.00	7.6	0.94	13.3	0.008	
<b>o5</b>	HDPE	3.00	8.6	0.94	14.2	0.010	
<b>o6</b>	HDPE	2.50	7.6	0.95	13.3	0.004	
<b>o7</b>	HDPE	2.85	6.9	0.94	17.0	0.004	
<b>o8</b>	HDPE	2.95	7.6	0.94	17.0	0.005	
<b>o9</b>	HDPE	3.00	8.4	0.94	17.0	0.006	

În continuare se prezintă etapele parcurse pentru a determina obiectele optime din categoria M8:

- Considerând că este necesar un material geosintetic care să asigure funcția de drenaj într-o anumită lucrare inginerească, se vor studia obiectele dintr-o categorie de materiale care asigură această funcție, cum ar fi M8 – georețelele, cu toate elementele de calcul prezentate în tabelul 9.2;
- Se ordonează obiectele din categoria M8 în funcție de sensul de optimizare a atributelor, rezultând ierarhizări pe coloane ale obiectelor, în ordine crescătoare sau descrescătoare ale valorilor atributelor;
- Calculul meritului fiecărui obiect în parte, folosind varianta a doua a metodei Onicescu; tabelul 9.3 are ca elemente locul ocupat de fiecare obiect în ierarhizările de pe coloane, respectiv valoarea coeficientului de importanță a acestuia. Se poate observa faptul că obiectul o5 este optim, având meritul cel mai mare, urmat de alte obiecte apropiate de această performanță, însă care ar necesita îmbunătățirea unuia sau a mai multor atribute pentru a putea ajunge la nivelul optim.

Tabel 9.3. Valorile meritelor pentru obiectele din categoria M8 de materiale geosintetice

<b>Pondere</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>0.15</b>	<b>0.65</b>	
<b>Obiect</b>	<b>Col.1</b>	<b>Col.2</b>	<b>Col.3</b>	<b>Col.4</b>	<b>Col.5</b>	<b>Merit</b>
<b>o1</b>	1	1	2	9	9	0.09406
<b>o2</b>	2	2	3	8	8	0.04938
<b>o3</b>	3	4	4	7	3	0.10117
<b>o4</b>	4	5	5	5	2	0.17656
<b>o5</b>	8	9	6	4	1	0.33537
<b>o6</b>	5	6	1	6	6	0.03172
<b>o7</b>	6	3	7	1	7	0.09063
<b>o8</b>	7	7	8	2	5	0.05926
<b>o9</b>	9	8	9	3	4	0.05990

### 9.3. Aplicația GeoSelect de selecție optimă a materialelor geosintetice

Având în vedere posibilitățile extinse ale aplicațiilor dezvoltate cu ajutorul Internetului, am considerat utilă implementarea unei aplicații web de selecție optimă a materialelor geosintetice, bazate pe instrumentele analizei multicriteriale. În figura 9.2 se descrie schema logică de funcționare a aplicației GeoSelect.

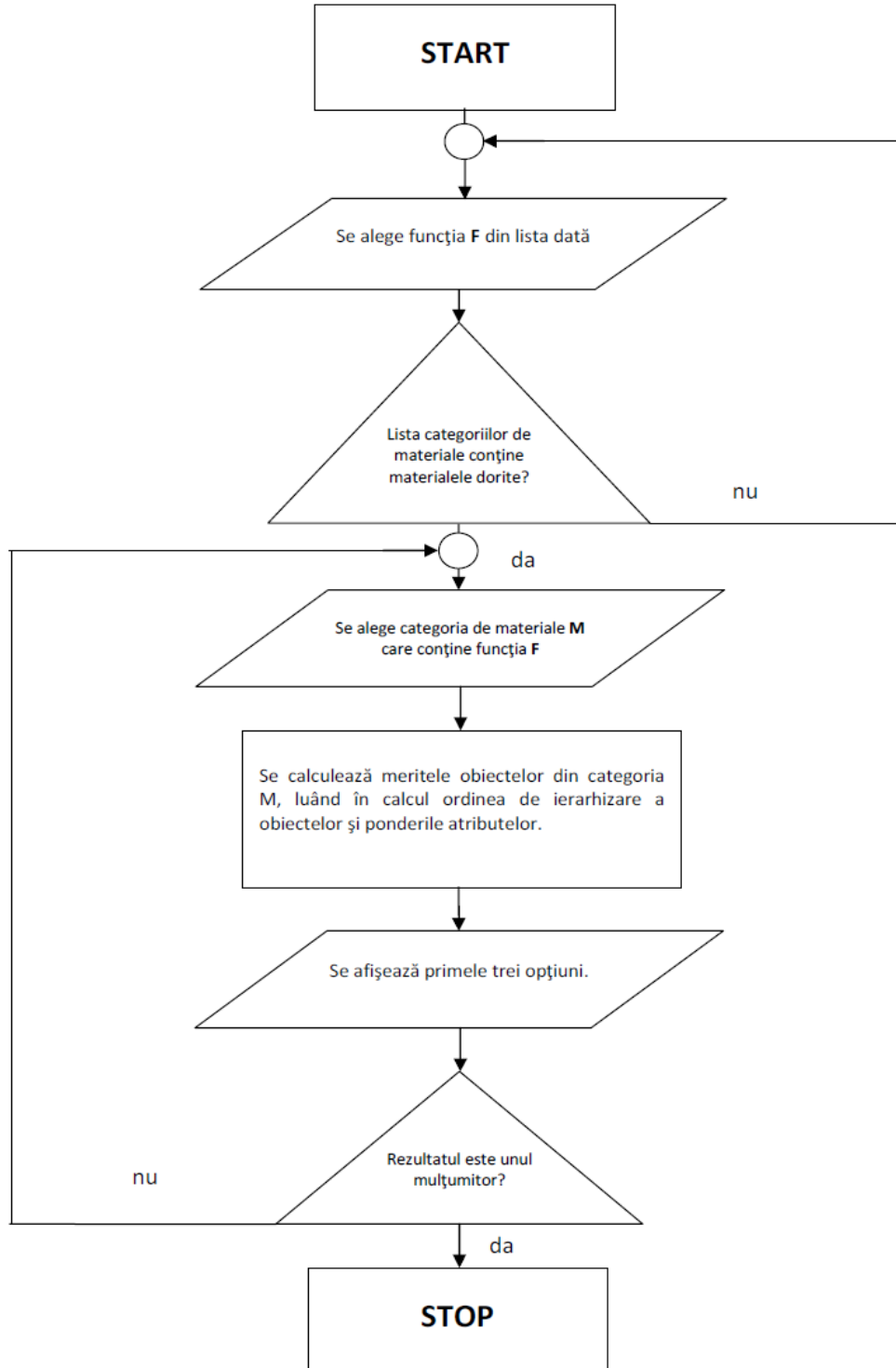


Figura 9.2. Schema logică a programului GeoSelect

Urmărind algoritmul de mai sus, se pot delimita etapele de lucru cu aplicația GeoSelect, pornind de la ecranul inițial, de lansare a aplicației prin intermediul unui browser web de către un utilizator și ajungând la ecranul final, de afișare a materialelor optime rezultate în urma calculului meritelor, cu posibilitatea de printare a rezultatelor obținute. Aceste etape, precum și ecranele aferente sunt prezentate pe larg în teza de doctorat. Funcțiile folosite în dezvoltarea aplicației web GeoSelect sunt redată în Anexa 1 a tezei de doctorat.

## **Capitolul 10. Cercetări experimentale privind armarea și drenajul haldelor de cenușă volatilă cu materiale geosintetice**

Acest capitol al tezei de doctorat prezintă o serie de cercetări experimentale și modelări numerice pentru evidențierea caracteristicilor materialelor care pot influența stabilitatea unei halde de cenușă volatilă, atunci când în structura acesteia este utilizat un geotextil cu rol de drenaj și armare. Rezultatele experimentale și cele ale modelării numerice sunt comparate în final cu cele obținute prin rularea aplicației GeoSelect, reprezentând o formă de validare a acesteia.

### **Partea a IV-a. Concluzii generale, contribuții proprii și valorificarea rezultatelor cercetărilor efectuate**

#### **Capitolul 11. Concluzii generale**

În urma investigațiilor bibliografice efectuate în prima parte a tezei de doctorat am obținut o serie de concluzii privind stadiul actual de utilizare a materialelor geosintetice. Pornind de la acest studiu documentar s-au conturat obiectivele principale ale planului de cercetare asociat tezei de doctorat.

Pe baza cercetărilor experimentale efectuate, am identificat caracteristicile sistemului calității, prioritare în selecția materialelor geosintetice adecvate, în funcție de tipul lucrărilor ingineresti. Totodată am realizat o corelație între caracteristicile materialelor geosintetice și încercările necesare în scopul determinării acestora. Principalele concluzii ale cercetărilor experimentale efectuate sunt sintetizate în cele ce urmează.

- ***Concluzii privind studiul compatibilității hidraulice a componentelor sistemului pământ-material geosintetic***
  - încercarea de permeabilitate a sistemului pământ-geotextil realizată cu ajutorul permeometrului cu pereți flexibili permite determinarea permeabilității unui sistem compozit supus unei stări controlate de eforturi unitare efective, ceea ce o face potrivită pentru acele aplicații de risc mai mare, care implică și existența unei stări de eforturi unitare pe probă; pe de altă parte, permeometrul cu pereți rigizi este mai potrivit pentru determinarea fenomenelor care pot avea loc în interiorul probei analizate, cum ar fi formarea de căi preferențiale de curgere și colmatarea suprafeței geosinteticului folosit.
- ***Concluzii privind studiul compatibilității mecanice a sistemului pământ-material geosintetic***
  - în urma încercărilor experimentale efectuate, a rezultat fenomenul de conlucrare care are loc între materialul granular și geogriță în timpul exploatarei; prin studiul comparativ al caracteristicilor de forfecare în cazul pământului armat cu geogriță, respectiv a pământului nearmat, a rezultat efectul benefic al geogriței asupra eficienței în exploatarea lucrărilor ingineresti de pământ armat.
- ***Concluzii privind studiul caracteristicilor de durabilitate ale sistemului pământ-material geosintetic***
  - în urma încercărilor de rezistență la fluaj a sistemului pământ-geogriță, a rezultat că pentru a putea aprecia durabilitatea structurilor de pământ armat din punct de vedere al fluajului, este necesară determinarea efortului maxim de forfecare pe care acestea îl pot prelua fără a-și pierde stabilitatea;
  - cercetările experimentale efectuate pentru evaluarea rezistenței la acțiunea razelor UV a materialelor geosintetice au pus în evidență creșterea rezistenței la întindere a geotextilelor expuse radiațiilor UV, ca element favorizant pentru comportarea de scurtă durată (lucrări provizorii), cuplată însă cu o rupere casantă, adică fără domeniu de deformare plastică; deoarece domeniul de comportare plastică este necesar pentru comportarea de lungă durată, rezultă că aceste materiale trebuie selectate diferențiat, cu atenție în cazul lucrărilor de durată mai mare.

În partea a treia a tezei de doctorat, s-a desprins ca și concluzie generală necesitatea existenței unui sistem facil de selecție a materialelor geosintetice, care să ia în calcul atât caracteristicile funcționale ale acestora, cât și funcțiile pe care le îndeplinesc în lucrările ingineresti. Acest lucru a dus la crearea unei aplicații web inovatoare denumite GeoSelect, prin intermediul căreia se realizează optimizarea multicriterială a selecției materialelor geosintetice pentru diferite tipuri de lucrări ingineresti.

## **Capitolul 12. Contribuții proprii și valorificarea rezultatelor obținute în urma cercetărilor efectuate**

În continuare se prezintă sintetizat principalele contribuții proprii rezultate în urma elaborării tezei de doctorat.

### ***Contribuții proprii principale aferente studiului documentar efectuat***

În prima parte a tezei de doctorat, am realizat o clasificare a lucrărilor reprezentative de infrastructură și de ingineria mediului în care utilizarea materialelor geosintetice a devenit prioritară, cu precizări asupra interacțiunii dintre calitatea materialelor geosintetice și caracteristicile necesare prin raport cu mediul de utilizare.

### ***Contribuții proprii principale aferente studiului experimental efectuat***

Din partea a doua a tezei de doctorat, se pot menționa ca și contribuții proprii principale următoarele:

- elaborarea schiței funcționale, realizarea și punerea în funcțiune a permeometrului cu pereți rigizi, utilizat pentru efectuarea studiilor complexe de permeabilitate și colmatare a sistemului pământ-geosintetic;
- analiza a doi coeficienți suplimentari utilizați ca și criterii de filtrare, și anume: raportul de gradient și respectiv, raportul de permeabilitate, cu ajutorul permeometrului cu pereți rigizi; elaborarea unui grafic de evaluare și respectiv, de clasificare a materialelor geosintetice utilizate cu rol de filtrare/drenaj;
- evidențierea avantajelor, a diferențelor de funcționare și de furnizare a rezultatelor pentru cele două aparate folosite în studiul permeabilității sistemului pământ-geosintetic, și anume: permeometrul cu pereți rigizi, respectiv permeometrul cu pereți flexibili;
- recomandări privind evaluarea sistemului cenușă-geotextil din punct de vedere al permeabilității, care implică atât aparatura utilizată, cât și simularea corespunzătoare a condițiilor de consolidare a cenușii în haldă;
- evidențierea rolului unei selecții corecte a materialului geosintetic care urmează a fi utilizat pentru lucrări de pământ armat, prin punerea în evidență a fenomenului de conlucrare dintre pământ și geogriile;
- explicitarea practică a modului de variație a caracteristicilor mecanice și hidraulice definitorii ale materialelor geotextile, cum sunt rezistența la întindere și coeficientul de permeabilitate, pentru geotextile supuse radiațiilor UV în exploatare;
- realizarea unui experiment practic în teren, prin montarea unor bariere antierozionale din geotextil și evaluarea caracteristicilor materialului geotextil utilizat, înainte și după activitatea de exploatare.

### ***Contribuții proprii principale aferente studiului de optimizare multicriterială a selecției materialelor geosintetice***

Din partea a treia a tezei de doctorat, pot fi menționate ca și contribuții proprii principale ale autorului următoarele:

- sintetizarea parametrilor prioritari ai calității materialelor geosintetice, atât din punct de vedere al funcțiilor pe care acestea le îndeplinesc, cât și al categoriilor de lucrări ingineresti;
- studiul și aplicarea instrumentelor de analiză multicriterială pentru selecția materialelor geosintetice optime;
- extragerea de valori ale caracteristicilor principale tehnico-economice ale materialelor geosintetice din fișe tehnice și broșuri de la numeroși producători;
- alocarea de ponderi și sensuri de optimizare ale caracteristicilor materialelor geosintetice, pe baza cunoștințelor și experienței acumulate;
- alcătuirea matricilor decizionale de calcul din metodele de analiză multicriterială și calculul meritelor materialelor geosintetice;
- elaborarea algoritmului de calcul, a schemei logice și a bazelor de date necesare lansării aplicației web GeoSelect, aplicație inovatoare cu rolul optimizării selecției multicriteriale a materialelor geosintetice, conform funcțiilor acestora din cadrul lucrărilor ingineresti; validarea aplicației GeoSelect, prin utilizarea unui studiu de caz concret.

Ca direcții viitoare de cercetare, pot fi menționate următoarele:

- utilizarea unui aparat triaxial cu celulă de diametru mare, cu rol de permeamtru cu pereți flexibili pentru investigații suplimentare privind capacitatea de filtrare a geotextilelor în contact cu materiale fine;
- realizarea unor cercetări experimentale în scopul evaluării caracteristicilor de rezistență la oboseală și la acțiunea factorilor chimici ale materialelor geosintetice;
- analiza posibilităților de extindere a aplicației GeoSelect, prin considerarea caracteristicilor specifice ale pământului utilizat în contact cu materialele geosintetice.

Diseminarea rezultatelor experimentale obținute în cadrul tezei de doctorat a fost realizată atât în cadrul conferințelor și simpoziunelor din domeniu, cât și în publicații științifice de specialitate.

### **Bibliografie selectivă**

1. Andrașiu, M., Baci, A., Pascu, A., Pușcaș, E. și Tașnadi, Al., *Metode de decizii multicriteriale*, Editura Tehnică, București, 1986, 200 p.
2. Baicu, A., **Chirică, R.I.** and Taloș, L.T., "Shear strength mobilisation with absolute deformation  $\delta$  and the relative deformation  $\varepsilon$ . Test comparison on large and small shear boxes", Proceedings of Eurogeo 5 – 5<sup>th</sup> European Geosynthetics Congress, 16<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> September 2012, Valencia, Spain, p. 38-42
3. Baicu, A., **Chirică, R.I.** and Taloș, L.T., "Geotechnical study regarding the rehabilitation of Bucharest-Constantza railway, km 7+480. Observation of the abutment wall", Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference Geosynthetics Middle East, 25<sup>th</sup>–26<sup>th</sup> October 2011, Abu Dhabi, UAE, p.41-54
4. Banciu, D.D.M. and Resteanu, M., "MADM Models for Decision Making in Acquisitions", Studies in Informatics and Control, ISSN 1220-1766, vol. 20 (3), pp. 313-324, 2011
5. **Chirică, R.I.** and Taloș, L.T., "Interplay between geotextiles and soil properties and its importance in selecting operation", Proceedings of Eurogeo 5 – the 5<sup>th</sup> European Geosynthetics Congress, 16<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> September 2012, Valencia, Spain, p. 104-108
6. **Chirică, R.I.**, "Some considerations about the proper selection of geosynthetics for railway networks in Romania", Proceedings of the 5<sup>th</sup> Asian Regional Conference on Geosynthetics, 13<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> December 2012, Bangkok, Thailand, p. 583-587
7. **Chirică, R.I.** and Taloș, L.T., "Selection activity optimization for a geotextile-ash system from filtration function point of view", Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, and Symposium in Honor of Clyde Baker, Application of Geo-Synthetics, April 29 – May 4, Chicago, Illinois, 2013
8. **Chirică, R.I.** and Veghiu, C., "Seepage analysis for a shopping centre built near a river", Proc. of the 13<sup>th</sup> SGEM GeoConference on Science and Technologies In Geology, Exploration and Mining, ISBN 978-954-91818-8-3/ISSN 1314-2704, June 16-22, Albena, Bulgaria, 2013, Vol. 2, 349-356 pp (indexat **ISI**);
9. **Chirică, R.I.**, Barariu, A. și Taloș, L.T., "Cercetări privind selecția materialelor geosintetice pentru lucrări de infrastructură", Volumul lucrărilor celei de-a VI-a ediție a Conferinței Științifice Internaționale de Cercetare și Administrare Rutieră CAR, editor Carmen Răcănel, Editura Conspress, București, România, 4-5 iulie 2013, p. 1354-1365
10. Găzdaru, A., Manea, S., Feodorov, V. și Batali, L. P., *Geosinteticele în construcții. Proprietăți, utilizări, metode de calcul*, Editura Academiei Române, București, 1999, 329 p.
11. Giroud, J.P., *Development of criteria for geotextile and granular filters, Prestigious Lecture, Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics, 9ICG*, Guarujá, Brazil, May 2010.
12. Haliburton, T.A. and Wood, P.D., *Evaluation of the U.S. Army Corps of Engineers Gradient Ratio Test for Geotextile Performance*, Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, USA, 1982, p. 97-101
13. Holtz, R. D., Christopher B. R. and Berg R. R., *Geosynthetic Engineering*, BiTech Publishers, Ltd., Richmond, B.C., Canada, 1997, 452 p.
14. Koerner, R. M., *Designing With Geosynthetics*, 5<sup>th</sup> Edition, Pearson Prentice Hall Publ., Michigan University, USA, 2005, 796 p.
15. Kutay, M.E. & Aydilek, A.H., *Hydraulic Compatibility of Geotextile Drains with Fly Ash in Pavement Structures*, Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2003
16. Morgan, R. P. C. and Rickson, R. J., *Slope stabilization and erosion control. A bioengineering approach*, E&FN SPON, London, UK, 1995, 274 p.
17. Shukla, S. K. and Yin, J.-H., *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*, Taylor and Francis Publishers, London, England, 2006, 410 p.