



UNIUNEA EUROPEANĂ



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



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Universitatea
"Lucian Blaga"
din Sibiu

Investește în oameni!

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Axa prioritară: nr. 1: "Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere"

Domeniul major de intervenție: 1.5.: "Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării"

Titlul proiectului: "Armonizarea valențelor academice românești cu cele ale Comunității Europene"

Cod contract: POSDRU/CPP107/DMI1.5/S/76851

Beneficiar: Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu

UNIVERSITATEA „LUCIAN BLAGA” DIN SIBIU

FACULTATEA DE INGINERIE

Ing. Petre VASILUȚĂ

-REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT -

**CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL
COMPORTAMENTULUI MECANIC AL
GEOMEMBRANEI FOLOSITE LA CĂPTUȘIREA
DEPOZITELOR ECOLOGICE DE DEȘEURI**

**Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Florin Nicolae COFARU**

Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

PREȘEDINTE: -Prof. univ. dr. ing. ROȘCA LIVIU IOAN
Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu

MEMBRII

REFERENȚI:

- Prof. univ. dr. ing. HADĂR ANTON
Universitatea Politehnica din București
- Prof. univ. dr. ing. PASTRAMĂ ȘTEFAN DAN
Universitatea Politehnica din București
- Prof. univ. dr. ing. OLEKSIK VALENTIN
Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu

CUVÂNT ÎNAINTE

La încheierea procesului de elaborare a lucrării de doctorat, doresc să aduc mulțumiri în mod deosebit conducătorului științific, Domnului *prof. univ. dr. ing. Cofaru Florin Nicolae*, pentru sprijinul total și necondiționat pe care mi l-a acordat pe parcursul celor trei ani de experimente și studiu. Prin profesionalismul de înaltă ținută academică, prin tactul pedagogic, răbdarea, înțelegerea, cunoștințele împărtășite, încurajarea permanentă și îndrumarea pe etape succesive în care m-a susținut, inclusiv în momentele dificile, domnia sa a avut o contribuție foarte importantă în elaborarea și finalizarea acestei lucrări. Sub îndrumarea Domnului *prof. univ. dr. ing. Cofaru Florin Nicolae*, am participat la numeroase manifestări științifice naționale și internaționale, unde am prezentat lucrări științifice publicate ulterior în reviste de specialitate.

Pe această cale doresc să aduc sincere mulțumiri domnului *prof. univ. OLEKSIK VALENTIN*, pentru sprijinul acordat în cadrul domeniului FEA, pentru susținerea și încrederea acordată, dar și pentru ajutorul real în realizarea părții experimentale efectuate în cadrul laboratorului de incercari mecanice în cadrul Facultății de Inginerii.

Mulțumesc de asemenea și membrilor comisiei de doctorat, domnului *Prof. univ.dr. ing. ROȘCA LIVIU IOAN* – Președinte, din cadrul Universității “Lucian Blaga” din Sibiu, domnului *Prof. univ. dr. ing. HADĂR ANTON* – Referent oficial din cadrul Universității Politehnica din București, domnului *Prof. univ. dr. ing. PASTRAMĂ ȘTEFAN DAN* – Referent oficial din cadrul Universității Politehnica din București, domnului *Prof. univ. dr. ing. OLEKSIK VALENTIN* – Referent oficial din cadrul Universității “Lucian Blaga” din Sibiu pentru aprecierile făcute în urma parcurgerii acestei lucrări și pentru prezența domniilor lor la susținerea tezei de doctorat.

Nu în ultimul rând, mulțumesc familiei pentru participarea sufletească și ajutorul acordat pe toată perioada de derulare a prezentei teze, în special soției mele care a avut încredere în mine și mi-a fost alături. Tuturor celor care m-au sprijinit le ofer cele mai bune gânduri și recunoștință.

Prezenta lucrare de doctorat este rezultatul cercetărilor realizate în cadrul proiectului: “Armonizarea valențelor academice românești cu cele ale Comunității Europene”, POSDRU/CPP107/DMI1.5/S/76851, Beneficiar: Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu, cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

Sibiu, 2016

Cuprins

Capitolul 1. Introducere

1.1. Motivație

1.1.1. *Impactul în mediu a depozitelor de deșeuri.* 5

1.2. **Evoluția și structura tezei de doctorat** 6

Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul mecanic al geomembranelor folosite la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deșeuri

2.1. **Depozitele ecologice de deșeuri. Structura. Funcționalitate** 7

2.1.1. *Generalități*

2.1.2. *Depozitele de deșeuri* 7

2.1.2.1. *Structură* 7

2.1.2.2. *Căptușeala fundației* 8

2.1.2.3. *Sistemul de colectare, îndepărtare și tratare a levigatului* 8

2.1.2.4. *Acoperirea* 9

2.2. **Geomembrana. Parametrii mecanici** 9

2.2.1. *Geomembrana. Generalități* 9

2.2.1.1. *Instalarea geomembranei* 9

2.2.2. *Geomembrana. Parametri mecanici.* 10

2.2.2.1. *Cerințe privind proprietățile fizice ale geomembranelor* 10

2.2.2.2. *Cerințe privind rezistențele mecanice ale geomembranelor* 10

2.2.2.3. *Cerințe privind stabilitatea și durabilitatea geomembranelor* 10

2.2.3. *Cutele geomembranei. Efectele cutarii geomembranei* 10

2.2.4. *Stadiul actual în domeniul cercetărilor analitice asupra comportării mecanice a geomembranelor cutate* 11

2.2.4.1. *Cercetări analitice și experimentale privind formarea cutelor* 11

2.2.4.2. *Cercetări numerice privind efectele existenței cutelor* 13

2.2.4.3. *Cercetări experimentale și analitice privind efectele existenței cutelor* 13

2.2.5. *Obiectivele tezei de doctorat* 22

Capitolul 3. Studii privind influența radiației solare asupra depozitelor ecologice. Modele matematice

3.1. **Radiația solară. Introducere** 23

3.2. **Influența radiației solare** 23

3.3. **Poziția soarelui în raport cu o suprafață plană** 24

3.4. **Mișcarea aparentă a soarelui pe bolta cerească** 24

3.5. **Constanta solară** 24

3.6. **Densitatea fluxului radiant la nivelul solului** 24

3.7. **Program pentru calculul radiației totale solare în raport cu timpul și în funcție de poziția locației pe glob** 28

Capitolul 4. Studii pe modele virtuale predictive bazate pe metoda elementelor finite de analiză a comportamentului geomembranelor

4.1. **Introducere în proiectarea și ingineria asistată de calculator** 30

4.1.1. *Un scurt istoric al conceptului CAD (Computer Aided Design)* 30

4.1.2. *Conceptul MEF (Metoda Elementelor Finite). Generalități* 30

4.1.3. *Etapile de rezolvare a unei probleme cu ajutorul metodei elementelor finite* 30

4.1.4. Testarea statică a unei geomembrane (placă plană) la o temperatură exterioară dată	30
4.2.1. Interpretarea rezultatelor, discuții, concluzii	32
4.3. Sisteme virtual-experimentale de testare a geomembranelor cutate	32
4.3.1. Generalități	32
4.3.2. Testarea virtuală a unei geomembrane cu o cută de dimensiuni cunoscute	32
4.4. Studii, analize și simulări realizate pe geomembrane	32
4.4.1. Generalități	32
4.4.2. Proiectarea și modelarea 3D a unui dispozitiv de testare a geomembranei	32
4.4.3. Analiza transmiterii presiunii exercitate la geomembrana în dispozitivul experimental, folosind un program de analiză cu elemente finite	33
4.5. Modelarea virtuală și analiza cu element solid a comportamentului geomembranei HDPE folosind aplicația AnsysWorkbench 15.0.7	35
4.5.1. Modelarea virtuală a geomembranei cu 1 - 2 cute dispuse la 30°, 45°, 90°	35
4.5.2. Analiza neliniară a geomembranei având o singură cută	36
4.5.3. Analiza geomembranei cu două cute dispuse la 30°	37
4.5.4. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 45°	38
4.5.5. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 90°	39
4.5.6. Interpretarea rezultatelor. Discuții. Concluzii	39
4.6. Testarea statică cu element de tip “Shell” a modelelor geomembranei cu o cută și două cute	40
4.6.1. Modelarea virtuală a modelelor geomembranei analizate cu element de tip “Shell”	40
4.6.2. Analiza neliniară a geomembranei având o singură cută	41
4.6.3. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 30°	43
4.6.4. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 45°	43
4.6.5. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 90°	43
4.6.6. Interpretarea rezultatelor. Discuții. Concluzii	43
Capitolul 5. Metodologia cercetării experimentale, instalațiile și standurile experimentale folosite	
5.1. Algoritmul cercetării experimentale	45
5.2. Scopul și obiectivele propuse	45
5.3. Instalația folosită la cercetările experimentale	45
5.3.1. Mașina de încercare uniaxială la tracțiune Instron 5587	45
5.3.2. Sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis	46
5.4. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE	46
5.4.1. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE fără concentratoare de tensiune	47
5.4.2. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE cu concentratoare de tensiune	51
Capitolul 6. Concluzii și contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare	56
6.1. Obiective, analize, concluzii	56
6.2. Contribuții originale	56
6.3. Direcții de cercetare	58
Bibliografie	60

Capitolul 1. Introducere

1.1. Motivație

1.1.1. Impactul în mediu a depozitelor de deșeuri.

- Rolul impermeabilizării depozitelor;
- Înscrierile în tendințele UE;
- Lucrări în domeniu.

Motivația în alegerea temei "Contribuții privind studiul comportamentul mecanic al geomembranei folosite pentru captușirea depozitelor ecologice de deșeuri" derivă din dorința de documentare și de realizare de noi cercetări experimentale privind studiul depozitelor de deșeuri.

În această lucrare se va studia comportamentul pe termen lung al geomembranelor precum și efectul factorilor care influențează acest comportament, dată fiind importanța în protecția mediului înconjurător pe care o are geomembrana, folosită la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deșeuri. De asemenea o atenție deosebită va fi acordată și sistemelor de colectare și transport a levigatului.

Tendențele în ceea ce privește managementul deșeurilor, promovate de Agenția Europeană de Mediu și adoptate de majoritatea statelor membre UE sunt reprezentate de:

- minimizarea și prevenirea cantităților de deșeuri;
- reciclarea;
- incinerarea;
- depozitarea.

Cea mai utilizată metodă a fost și este în continuare în unele țări, aceea de depozitare a deșeurilor, în ciuda faptului că prezintă cele mai multe efecte negative. Acest lucru poate fi pus pe seama gradului de dezvoltare al țărilor, al comportamentului și atitudinilor societății civile și autorităților; precum și existența instrumentelor legale, factorilor politici. De exemplu, țările în curs de dezvoltare, au ca strategie politică, dar și scop general, dezvoltarea economică, lăsând problemele legate de mediu (impactul deșeurilor asupra mediului, în cazul de față), pe o poziție inferioară.

Principalele forme de impact și risc determinate de depozitele de deșeuri orășenești și industriale, în ordinea în care sunt percepute de populație, sunt:

1. poluarea solurilor prin emisii de nutrienți, metale grele și compuși toxici rezultați din levigatul depozitelor de deșeuri;
2. reducerea suprafețelor de teren din cauza construirii depozitelor;
3. poluarea prin emisiile de gaze cu efect de seră datorate atât tratării deșeurilor din depozit cât și rezultate din diferite tehnici neconforme;
4. poluarea apelor subterane datorate scurgerilor din depozitele de deșeuri la care se adaugă poluarea terenurilor învecinate;
5. intensificarea utilizării vehiculelor mari pentru transportul deșeurilor;
6. modificări de peisaj și disconfort vizual;
7. modificări ale fertilității solurilor și ale compoziției biocenozelor pe terenurile învecinate.

Motivația studiului GEOMEMBRANEI

Geomembranele sunt folosite cu precădere ca parte a căptușelii depozitelor de deșeuri ca și o barieră hidraulică, principala lor funcție fiind împiedicarea trecerii contaminanților prin căptușeală în solul de sub fundația depozitului. Pentru ca geomembrana să asigure în bune condiții impermeabilizarea depozitului trebuie ca aceasta să fie bine instalată, protejată de apariția avariilor (găuri, fisurări). Dintre factorii care pot cauza apariția avariilor geomembranei sunt:

- culele geomembranei;

- perforări provocate de stratul de drenaj;
- alegerea necorespunzătoare a stratului de protecție;
- instalarea necorespunzătoare a geomembranei;
- operarea greșită a depozitului.

În această lucrare se va studia comportamentul pe termen lung al geomembranelor precum și efectul factorilor care influențează acest comportament, dată fiind importanța în protecția mediului înconjurător pe care o are geomembrana, folosită la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deșeuri. De asemenea o atenție deosebită va fi acordată și sistemelor de colectare și transport a leviatului.

1.2. Evoluția și structura tezei de doctorat

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole, prezentul capitol introductiv în care se prezintă structura tezei și cele cinci capitole în care sunt detaliate cercetările.

Capitolul doi este dedicat stadiului actual al domeniului și realizează o trecere în revistă a principalelor preocupări în domeniu, pornind de la tipul de geomembrane ce se pot utiliza, continuând cu factorii care influențează apariția cutelor, studii privind cuantificarea cutelor și bineînțeles, studiul efectelor apariției cutelor la geomembranele folosite la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deșeuri. Stadiul actual se încheie cu un subcapitol de concluzii în care se stabilesc obiectivele tezei de doctorat.

Capitolul trei prezintă un studiu asupra influenței radiației solare în cutarea geomembranelor. La finalul capitolului este prezentat un program pentru calculul radiației totale solare în raport cu timpul și în funcție de poziția locației pe glob.

Capitolul patru este dedicat simulărilor numerice prin metoda elementului finit (elemente de tip „solid” sau Shell), realizându-se analize numerice pentru placi de geomembrana cu una sau două cute. De asemenea s-a realizat un dispozitiv virtual ce a fost analizat ulterior cu aceeași metodă.

Capitolul cinci este dedicat cercetărilor experimentale. În acest capitol sunt prezentate instalațiile experimentale:

- Mașina de încercare la tracțiune, compresiune și flambaj Instron 5587
- Sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis
- descrierea experimentului și a rezultatelor obținute

Capitolul șase este dedicat concluziilor finale, principalelor contribuții personale ale autorului și stabilirii direcțiilor viitoare de cercetare.

În cadrul acestui capitol sunt prezentate obiectivele principale privind dezvoltarea sistemelor de inovație pentru depozitele de deșeuri pentru îmbunătățirea mediului înconjurător, protecția faunei, florei.

Contribuțiile originale sunt prezentate prin intermediul analizelor experimentelor și sinteza efectuată pe parcursul realizării prezentei lucrări.

Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul mecanic al geomembranelor folosite la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deșeuri

2.1. Depozitele ecologice de deșeuri. Structura. Funcționalitate

2.1.1. Generalități

Definiție: Depozitul de deșeuri reprezintă o adâncitură în pământ sau o construcție deasupra solului în care sunt puse deșeurile. Ținta este evitarea oricărei conexiuni hidraulice între deșeu și mediul înconjurător, în special cu pânza de apă freatică.

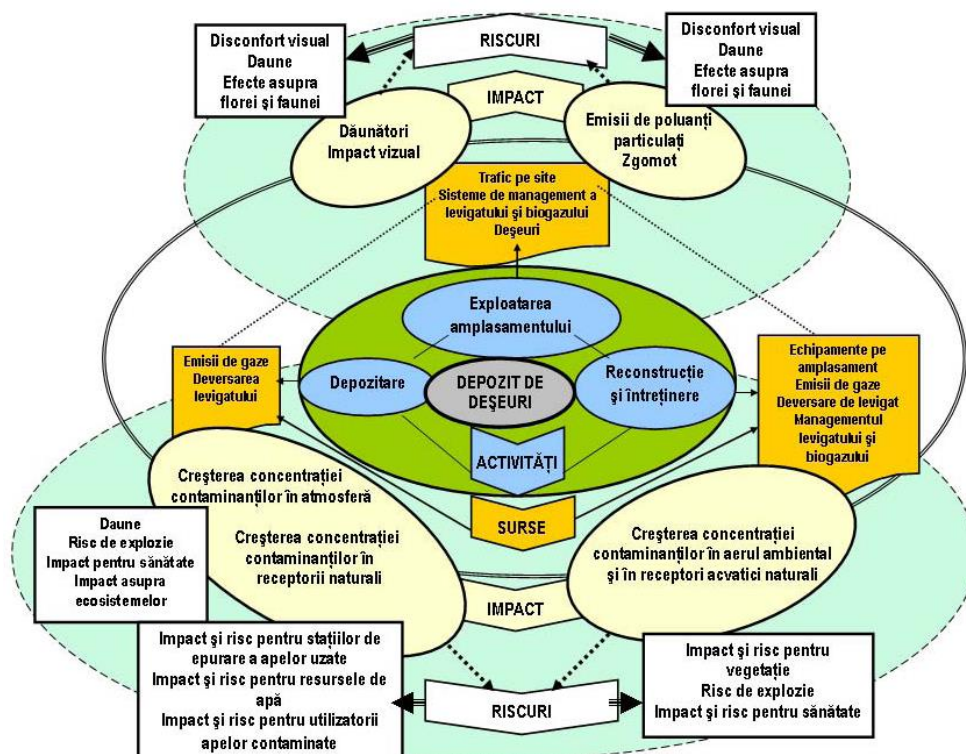


Figura 2.1 - Schema impacturilor și a riscurilor provocate de depozitele de deșeuri [Tim10]

Se crează o serie de riscuri și impacte asupra mediului. Principalele riscuri sunt reprezentate de disconfortul olfactiv, vizual, efecte asupra florei și faunei, daune, risc de explozie, risc pentru resursele de apă, risc pentru utilizatorii apelor contaminate.

Protecția solului, aerului și a apei freactice se va realiza prin construcția unei izolații multistrat la stratul inferior al depozitului și dotarea acesteia cu un sistem complex de canalizare care colectează apele pluviale căzute pe suprafața deșeurilor. Apele astfel colectate sunt înmagazinate într-un bazin impermeabil.

Protecția aerului constă în modul în care se captează gazele produse ca urmare a proceselor de descompunere anaerobă a materiei organice din deșeuri. Această captare se realizează cu ajutorul unor puțuri amplasate vertical în masa deșeurilor.

2.1.2. Depozitele de deșeuri.

2.1.2.1. Structură

În figura 2.7 seste prezentate o structura posibilă ale unui depozit de deșeuri ecologic. Din cele două figuri se poate observa impermeabilizarea depozitului, formată din argilă compactată, geobentonită și geomembrană.

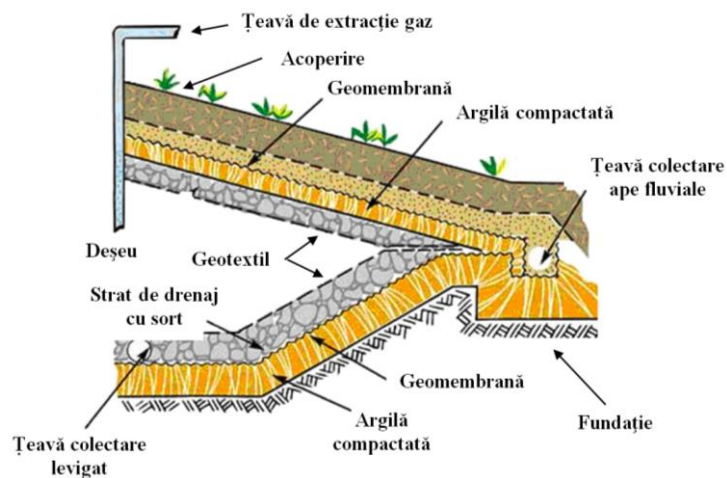


Figura 2.7 - Secțiune transversală printr-un depozit ecologic

2.1.2.2. Căptușeala fundației.

a) Este formată dintr-una sau mai multe straturi de argilă compactată și dintr-un sistem compozit care poate fi geomembrană, geotextil, geocompozit bentonitic.

b) *Descrierea elementelor componente ale unei căptușeli de fundație:*

b.1. Argilă compactată: poate fi într-un singur strat sau mai multe straturi. Grosimea fiecărui strat este de 500 mm. Coeficientul de permeabilitate al stratului este de 10^{-8} - 10^{-9} m/s.

b.2. Geocompozite: sunt materiale de tip "sandwich" realizate din materiale geosintetice și bentonită sodică sau argilă, cu presiunea între 3000-5000g/m², consolidate prin interțesere. Formează o barieră etanșă și eficientă, sunt materiale ușor de pus în practică, omogene și rezistente la poansonare

b.3. Geomebranele sunt produse polimerice plane, subțiri, sub formă de folii, cu permeabilitate foarte scăzută. Acestea sunt folosite în principal pentru impermeabilizarea la apă a elementelor subterane ale construcțiilor și sunt realizate din polietilenă de joasă densitate sau de înaltă densitate.

Geomembrana HDPE este fabricată din polietilenă de înaltă densitate. Poate avea ambele fețe netede sau poate fi rugoasă pe o față sau pe ambele fețe. Are culoarea neagră și conține aproximativ 97,5% polietilenă, 2,5% negru de fum, antioxidanți și stabilizatori de căldură. Are o rezistență remarcabilă la UV.

b.4. Geotextilele: sunt folosite pentru protejarea geomembranei la acțiunile mecanice, cât și pentru evitarea colmatării stratului de drenaj. Geotextilele sau geosinteticele (denumire generală) sunt materiale plane, continue, țesute sau nețesute, fabricate din fibre sintetice și/sau artificiale și/sau naturale, prin procedeul de interțesere (nețesute), țesere sau filare din topitură.

Pot fi:

- Geotextile nețesute.
- Geotextile țesute.

2.1.2.3. Sistemul de colectare, îndepărtare și tratare a levișatului

Sistemele de colectare și îndepărtare a levișatului sunt o cheie a depozitelor moderne.

a. Stratul de drenaj reprezintă pietrișul spălat cu conținut de carbonat de calciu de maximum 10%. Acesta se realizează cu o grosime de 0,3 m. Valoarea permeabilității trebuie să fie mai mare de 1 mm/s. Conținutul de carbonat de calciu nu trebuie să depășească 10% (masă).

b. Conductele de evacuare și colectare a levigatului. Țevile de colectare a levigatului au rolul de a asigura menținerea levigatului în corpul depozitului la un nivel minim. Conductele de drenaj (rețeaua de conducte de drenaj) reprezintă conducte perforate confecționate din polietilenă de înaltă densitate, care se poziționează deasupra sistemului de etanșare a bazei depozitului.

2.1.2.4. Acoperirea

Scopul sistemului de acoperire este de durată și de protecție împotriva: 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;

În plus trebuie să se realizeze integrarea zonei depozitului în peisajul înconjurător.

2.2. Geomembrana. Parametrii mecanici

2.2.1. Geomembrana. Generalități.

Geomembranele sunt produse polimerice plane, principalii polimeri utilizați sunt: polietilenă de înaltă, medie, joasă sau foarte joasă densitate (HDPE, MDPE, LDPE, VLDPE). În prezent, datorită bunei sale rezistențe la acțiunea diferiților agenți chimici, cea mai utilizată este polietilena de înaltă densitate (HDPE).

Geomembranele sunt fabricate cu grosimi mai mari de 0,5 mm și până la 5 mm. Grosimea uzuală pentru geomembranele ce intră în structura sistemelor de etanșare variază între 1 și 3 mm, o grosime mare asigurând o robustețe sporită, dar o flexibilitate redusă.

Geomembranele sunt în general de culoare închisă (datorită aditivilor pe bază de negru de fum, care le protejează contra efectelor nocive ale razelor UV. Procedul de îmbinare a geomembranelor poate fi: prin contact termic cu ajutorul unui aparat dotat cu o pană termică care se încălzește până la 150° C sau, îmbinare termică prin extrudare.

2.2.1.1. Instalarea geomembranei

Instalarea geomembranei cuprinde următoarele etape:

1. *Transportul Foliei HDPE:* se transportă cu mijloace de transport adecvate pentru a nu se fisura geomembrana, vehicule curate cu o capacitate de încărcare suficientă. În timpul transportului geomembrana trebuie asigurată cu curele pentru a nu se balansa. Descărcarea se face cu elevator, fără a avea suprafețe care pot zgâria sau tăia rola.

2. *Întinderea geomembranei:* cum lungimea geomembranei de pe o rolă variază între 50-100m, cu lățimea între 5,1-8 m, întinderea acesteia se face cu ajutorul unor dispozitive fixe sau montate pe cupa unui buldozer.

3. *Îmbinarea geomembranelor:* Aceasta se face prin **sudură termică cu pană caldă dublă** sau prin **extrudare** (figura 2.28 A). Testarea ulterioară a sudurii se face cu aer sub presiune pentru sudurile cu pană caldă dublă (Figura 2.28B), cu vacuum sau înaltă tensiune pentru sudurile extrudate.

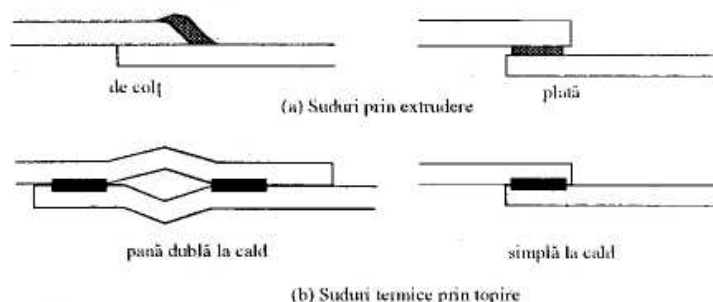


Figura 2.28 A – Îmbinarea geomembranelor prin sudură termică și sudură prin extrudare [WCR].

Îmbinarea prin sudură termică de contact se realizează prin lipirea caldă a două folii suprapuse, concomitent cu trecerea lor peste o plintă (elementul de topire) și presarea imediată cu două role presoare.

Îmbinarea cu sudură prin extrudare constă în depunerea materialului de adaos prin intermediul unui extruder portabil care utilizează un electrod de sudură din polietilenă, cu diametrul de 4-5mm.

2.2.2. Geomembrana. Parametri mecanici.

Cerințele speciale pentru geomembranele HDPE (polietilenă de înaltă densitate) prevăzute de “Normativul tehnic privind depozitarea deșeurilor nepericuloase-757 din 2004” sunt:

2.2.2.1. Cerințe privind proprietățile fizice ale geomembranelor

Proprietățile fizice ale geomembranei sunt determinate de grosimea, densitatea și masa pe unitatea de suprafață.

Tabelul 2.1 - Proprietățile fizice ale geomembranelor.

Proprietate	Metoda de determinare
Grosime (mm)	SR EN 964-1:1999
	SR EN ISO 9863-2:1996
	prEN 1849-2
Densitate (kg/dm ³)	STAS 5886-68
	ISO R 1183
	prEN 1849-2
Masa pe unitatea de suprafață (g/m ²)	Pr EN 1849-2

2.2.2.2. Cerințe privind rezistențele mecanice ale geomembranelor:

- *Rezistență la întindere.* Se determină prin: solicitare la întindere monoaxială pe eșantioane de formă în dublu T de lățime constantă și în condiții de solicitare tridimensională.

- *Rezistența la impact (șoc).* Se determină prin metoda Spencer, care constă prin căderea pe o mostră de geomembrană a unui pendul prevăzut la un capăt cu un con, măsurându-se energia la care se produce penetrarea.

- *Rezistența la poansonare statică.* Se utilizează o mostră circulară fixată pe un inel, care este solicitată static la compresiune înregistrându-se forța la care se produce ruperea.

- *Unghiul de frecare la interfață* dintre o geomembrană netedă HDPE și alte materiale (prEN 12957-1).

- *Rezistența la sfâșiere.* Se determină pe probe de formă trapezoidală cu tăietură de inițiere sau pe probe de tip despicate (STAS 6127/87 ; EN 12310-2 :2002).

- *Rezistența îmbinărilor sudate* (EN 12316-2 :2000).

2.2.2.3 Cerințe privind stabilitatea și durabilitatea geomembranelor:

- *Rezistența la degradare chimică.*

- *Rezistența la degradare termică prin oxidare* (rezistența la îmbătrânire

- *Rezistența la degradare prin acțiunea factorilor biologici.*

2.2.3. Cutele geomembranei. Efectele cutării geomembranei

Când este expusă radiațiilor din timpul instalării și dacă o parte din geomembrană nu este acoperită în timpul operării depozitului, geomembrana suportă dilatări termice. Dacă aceste dilatări sunt împiedicate să se dezvolte lateral (datorită frecării cu stratul de sub geomembrană sau ancorării geomembranei) și dilatarea este suficient de mare, geomembrana se va cuta.

Astfel, dilatarea termică reprezintă consecința expunerii la radiații în timpul instalării dar și în timpul operării depozitului. Dilatarea excesivă va produce cute pe suprafața geomembranei.



Figura 2.39 - Cute apărute la instalarea geomembranei (Mofleni)

Temperatura este principalul factor care cauzează cutarea geomembranei. Infiltrarea printr-o gaură într-o geomembrană depinde de: gradientul hidraulic, mărimea și numărul găurilor în geomembrană, permeabilitatea la granița dintre geomembrană și materialul pe care este pusă geomembrana, precum și de grosimea și conductivitatea hidraulică a fundației.

Cutele se pot forma într-o geomembrană în timpul instalării, creând un spațiu de aer între geomembrană și materialul de fundație pe care este pusă geomembrana. Dacă este un gol în sau lângă cuta geomembranei, acest aer creează o cale preferențială pentru debitul fluidului și infiltrarea depinzând în acest caz de lungimea și lățimea cutei. [Row09]

Poate fi o interconexiune hidraulică între cutele adiacente. [Tak07]

Problemele care apar datorită cutelor sunt:

1. creșterea potențialului de deteriorare din cauza traficului de la instalare și acoperire;
2. întreruperi ale drenajului;
3. scurtarea timpului de sudare și acoperire;
4. alungiri pe termen lung în material care pot fi determinante pentru viața acestuia sau pot cauza localizări de eforturi în zone nepotrivite;
5. reducerea abilității sistemului de monitorizare electric;
6. pierderea contactului cu stratul de sub.

2.2.4. Stadiul actual în domeniul cercetărilor analitice asupra comportării mecanice a geomembranelor cutate

2.2.4.1. Cercetări analitice și experimentale privind formarea cutelor.

2.2.4.1.a. Influența temperaturii.

În lucrarea [Cad93] autorii publică o cercetare experimentală, „*Influența temperaturii. Geomembrana cu suprafață albă*”, în care sunt studiate efectele încălzirii geomembranei.

În ideea de a măsura gradul de absorbție de energie termică solară, senzorii de temperatură au fost incluși (încastați) în geomembranele albe și negre.

Tabelul 2.3 – Rezultatele obținute în urma cercetării. [AST4a].

Model	Temperatura					
	32	33	32,6	32	30,3	30,6
Aer	34,2	34,8	35,7	36,2	32,6	36
Nisip	65,4	68	66,6	67,6	57,8	64,6
GM neagră fină la suprafață	62,4	65,6	64,2	66,4	55,1	60,6
GM gri fină la suprafață	48,1	46,7	48,9	49,7	42,6	47,1
GM albă fină la suprafață	43,4	43,3	44,3	44	39,4	41,8

Tabelul 2.4 – Rezultatele obținute pentru temperatura ambiantă de 30°C [AST4a]

GM neagră fină la suprafață	67°C	-
GM neagră texturată la suprafață	64°C	(-3°C)
GM gri la suprafață	49°C	(-18°C)
GM albă la suprafață	43°C	(-24°C)

2.2.4.1.b. Cercetări experimentale privind formarea cutelor. Cuantificarea cutelor și determinarea direcțiilor de formare. Forma și dimensiunile cutelor

O cercetare analitică și experimentală a fost publicată [Tak07], fiind intitulată „Quantifying geomembrane wrinkles using aerial photography and digital image processing” (Cuantificarea cutelor geomembranei folosind fotografiile aeriene și procesarea imaginilor digitale), cutele formate în timpul instalării geomembranei din cauza expunerii la soare a acesteia sunt studiate în vederea determinării formei și dimensiunilor, folosind poze digitale aeriene de altitudine joasă și tehnici de procesare a imaginii.

Rezultatele analizei indică, că la data și timpul la care imaginile au fost captate, geomembrana conținea o sută de cute majore care acopereau 13,9% din totalul de suprafață al geomembranei. Mai important din perspectiva infiltrațiilor, peste 90% din aceste cute au fost găsite ca fiind conectate hidraulic cu întreg terenul acoperit de geomembrana. O cută hidraulică conectată a fost găsită având un canal de scurgere cu lungimea de 520 m.

Platforma de fotografiere la altitudine joasă

Platforma aleasă pentru fotografierea aeriană la altitudine joasă este compusă dintr-un blindaj insonor al aparatului de filmat umplut cu heliu cu lungimea de 6,2 m și diametru de 2,1 m. Blindajul este controlat de către un operator folosind un prion de 60 m lungime. Mai mult, ca un zmeu, orientarea blindajului este determinată de către direcția predominantă a vântului.

Așa cum este arătat în figura 2.42, o cameră digitală 5D megapixel Cannon (DSRL) a fost atașată pe partea de dedesubt a blindajului încât nu i se permite balansarea și bascularea acesteia. Butonul de fotografiere al camerei este controlat de la sol prin intermediul unui sistem de control cu infraroșu. În timpul colectării datelor un operator al blindajului merge liniștit peste geomembrană în timp ce operatorul camerei fotografiază întreaga suprafață acoperită de geomembrană.

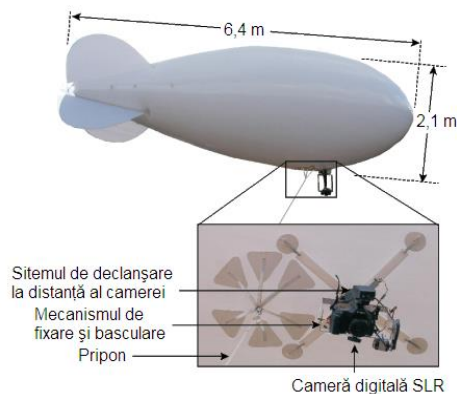


Figura 2.42 - Platforma de fotografiere la altitudine joasă [Tak07].

Rezultatele acestor cercetări. Cuantificarea cutelor. Definierea individuală a cutelor

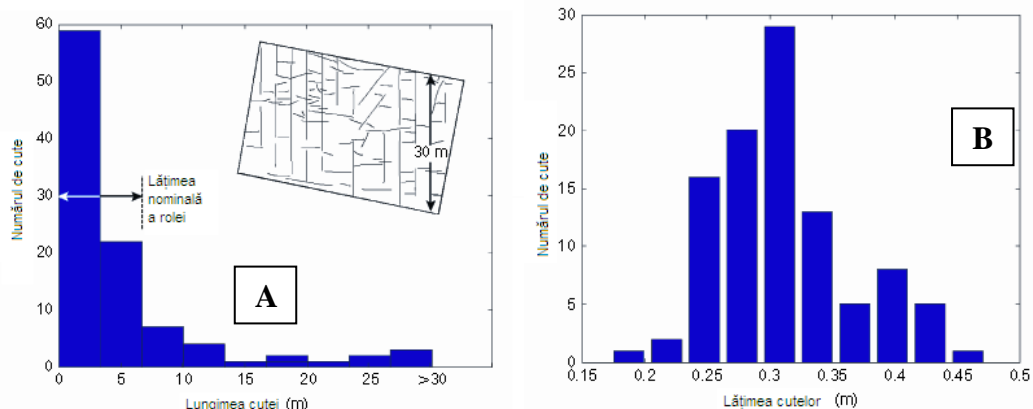


Figura 2.48 – **A** - Statistică cu lungimea cutelor; **B** - Statistică cu lățimea cutelor [Tak07].

2.2.4.2. Cercetări numerice privind efectele existenței cutelor

2.2.4.2.a. Influențele existenței cutelor asupra comportamentului pe termen lung al geomembranelor

Tensiunile locale de alungire în geomembrană de la particulele de pietriș ale sistemului de colectare a levigatului afectează și mai mult în cazul prezenței unei cute. Când este cutată, tensiunea maximă de alungire în geomembrană de la pietrișul așezat ca și strat de drenaj apare direct deasupra cutoi deformate. Eforturile libere din regiunea de sub cută conduc la eforturi de contact mai mari pe celelalte părți ale cutoi și descreșterea în lățime a cutoi produce o componentă orizontală a deplasării în apropierea particulelor pietrișului, ambele contribuind la creșterea eforturilor de alungire locală.

Autorii lucrării [Gud10], au publicat o cercetare analitică, numerică și experimentală numită “*Geomembrane strains from wrinkle deformations*” (Alungirile geomembranei cauzate de deformațiile cutoi). Aceștia examinează metode de estimare (calculare) a alungirii geomembranei cauzate de deformații ale cutoi geomembranei când este supusă efortului vertical al straturilor de peste geomembrană. Teoria învelișurilor subțiri, teoria deformațiilor și deplasărilor mici și teoria deformațiilor și deplasărilor mari sunt dezvoltate pentru a estima alungirile geomembranei date de deformațiile cutoi.

2.2.4.3. Cercetări experimentale și analitice privind efectele existenței cutelor

2.2.4.3.a. Influențele existenței cutelor asupra comportamentului pe termen lung al geomembranelor

Alungirile geomembranei prin măsurarea deformațiilor cutoi. Procedura de laborator pentru măsurarea deformației cutoi

O procedură de laborator este descrisă că a fost folosită pentru măsurarea componentelor verticale u_z și orizontale u_x ale deplasării cutoi. Principala provocare cu această aparatură de testare este de a urmări un punct de pe geomembrană de la cuta deformată. Pentru a depăși această provocare mici puncte marcate au fost făcute pe geomembrană pentru a putea urmări punctele de-a lungul secțiunii transversale a cutoi.

Înainte de a începe experimentul, coordonatele x și z ale punctelor marcate de-a lungul suprafeței superioare a cutoi geomembranei au fost măsurate folosind un cititor de profil dezvoltat special pentru acest scop. Cunoscând suprafața superioară a cutoi și grosimea geomembranei, locația inițială a punctului marcat de-a lungul suprafeței de jos a fost obținută.

Coordonatele acestor puncte au fost măsurate, obținându-se coordonatele finale ale punctelor marcate. Componentele deplasării u_z și u_x au fost calculate cunoscând coordonatele inițiale și finale ale punctelor de-a lungul suprafeței inferioare a geomembranei pentru secțiunea transversală selectată a cutoi.

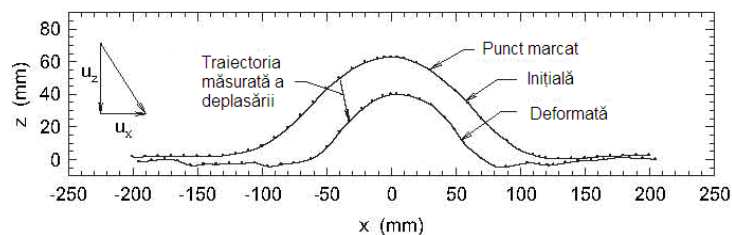
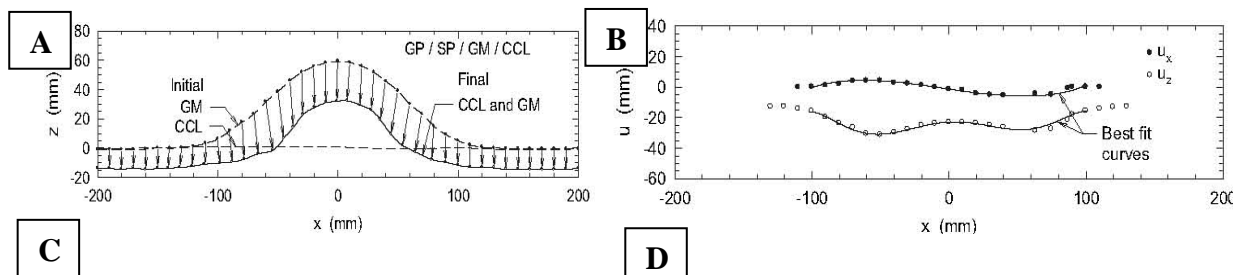


Figura 2.61 - Aranjarea pentru măsurarea componentelor deplasării de-a lungul lui $y = 0$ [Gud11].



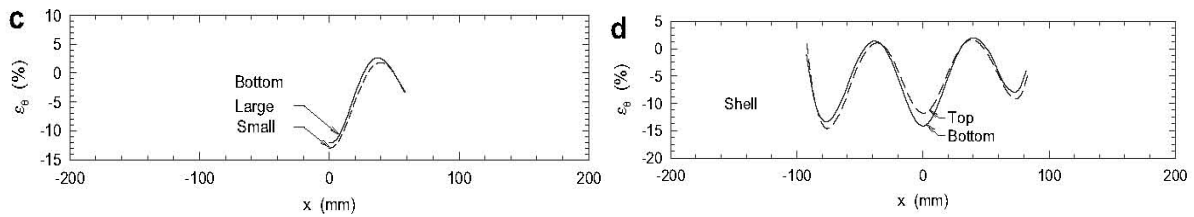


Figura 2.62 - Rezultatele din Testul 1 [Gud11].

2.2.4.3.b. Influența presiunii verticale dezvoltate de deșeuri asupra dispariției golului de sub cută

Dimensiunea la care golul de sub cută poate scădea, când cuta este îngropată, este nesemnificativă. Este de asemenea un potențial crescut de fisurare din cauza eforturilor de întindere care sunt induse în cută când este supusă presiunii verticale (din greutatea straturilor de deșeuri), aceste eforturi fiind compuse din eforturi de alungire locale produse de sortul din stratul de drenaj. Magnitudinea deformațiilor și alungirilor în cută au fost studiate pentru cazul particular cu nisip sub și peste cuta geomembranei (Soong și Koerner, 1998).

Rezultatele lor arată că lățimea, înălțimea și golul de sub cută rămân chiar dacă cuta este supusă unor presiuni de peste 1100KPa timp de 1000 de ore. Magnitudinea eforturilor de alungire provocate de sortul din stratul de drenaj pentru o căptușeală compozită GM/CCL, dar fără cută. Totuși, este neclar dacă cuta afectează solicitările locale din cauza redistribuției eforturilor verticale în jurul cutei. [Tog00]

În lucrarea [Gud06] este prezentată o cercetare experimentală numită „Physical Response of Geomembrane Wrinkles Overlying Compacted Clay” (Comportarea cutelor geomembranei așezată pe argilă compactată) în care este studiată comportarea unei cute formată artificial, a unei geomembrane cu grosimea de 1,5 mm și așezată pe trei tipuri de fundație diferite (nisip și argilă compactată cu două conținuturi diferite de apă). Sunt studiate de asemenea influențele fundației, stratului de protecție, presiuni aplicate, deformațiile cutei și amprente locale ale geomembranei asupra unei geomembrane cu cută. Obiectivul acestei lucrări a fost să prezinte rezultatele experimentelor care arată comportarea fizică a cutelor geomembranei când aceasta este așezată pe o fundație de argilă compactată și cu un strat de drenaj deasupra format din sort. [Gud06]

Rezultatele cercetării:

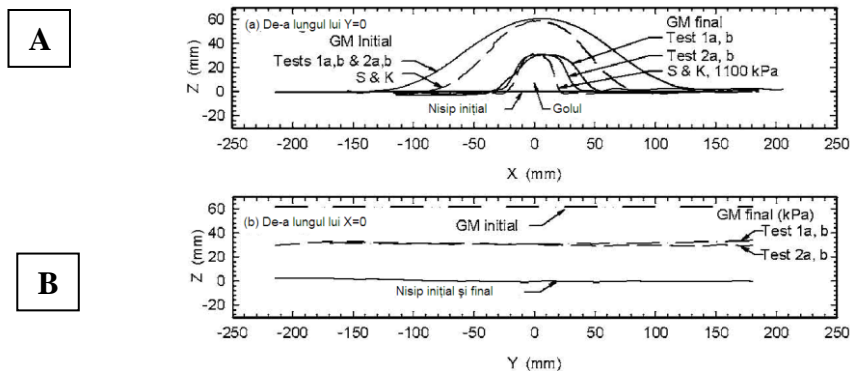
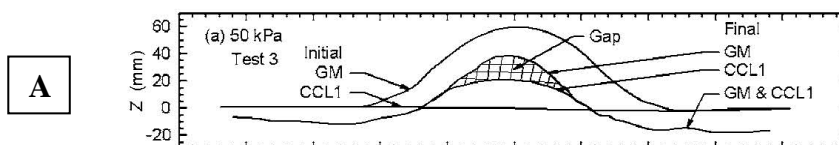


Figura 2.66 - Formele inițiale și deformate cu nisip deasupra și sub geomembrană.

A) de-a lungul $Y = 0$; B) de-a lungul $X = 0$ [Gud06].

Dispariția golului de sub cută:



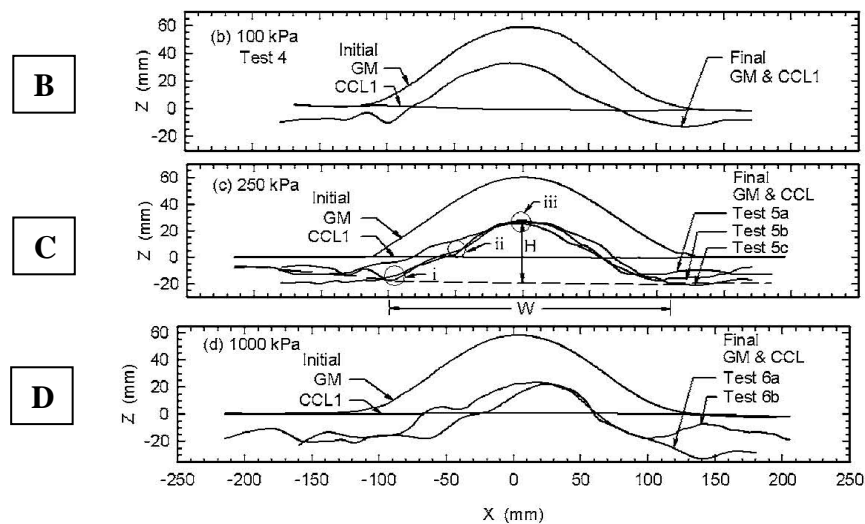


Figura 2.67 - Formele inițiale și deformată cu fundație CCL1, sort GP1 și fără protecție la presiuni aplicate de: **A)** 50 Pa; **B)** 100kPa; **C)** 250 Pa; **D)** 1000 Pa. [Gud06]

2.2.4.3.c. Efectul existenței unei cute asupra amprentelor locale ale geomembranei în funcție de stratul de protecție și de sort

Ampretele locale se dezvoltă de regulă din cauza contactului dintre sort și geomembrană. Stratul de protecție are ca scop prevenirea perforării și limitarea pe termen lung a eforturilor de alungire ale geomembranei de la aceste amprente. În timp ce geomembrana nu a fost perforată în nici unul dintre teste, magnitudinea amprentelor locale sunt afectate de prezența cutoi, tipul de material de umplere și de tipul stratului de protecție. Alungirile geomembranei au fost calculate de la amprentele măsurate folosind procedura lui [Tognon 2000] et al. (2000) la trei locații diferite: 1) în apropierea cutoi, 2) de-a lungul cutoi, 3) în vârful cutoi.

Rezultatele experimentelor arată că amprentele au fost mai mari lângă cută și mai mici în vârful cutoi. De exemplu, cu strat de protecție, alungirea maximă de lângă cută a fost de 8 ori mai mare decât cea din vârful cutoi. Ampretele locale din geomembrană fac și mai mult rău în prezența unei cutoi. De exemplu, maximul alungirii fără cută a fost 32%, în comparație cu valoarea maximă de 42% cu cută. Redistribuirea eforturilor de la vârful cutoi către laturile cutoi conduc la forțe de contact mai mari lângă cută.

2.2.4.3.d. Contactul dintre sort și geomembrană. Influența existenței unei cutoi

Cunoașterea naturii contactelor pietrișului și solicitărilor asociate este esențială înainte de modelarea numerică a interacțiunii fizice între pietriș, stratul de protecție și geomembrană. Cunoscând ce tip de contact este și care tip de contact provoacă alungiri mari ale geomembranei putând fi de asemenea evaluate în experimente.

În lucrarea [Bra08-2], autorii prezintă o cercetare analitică și experimentală, „Gravel contacts and geomembrane strains for a GM/CCL composite liner” (Contactele pietrișului și alungirea geomembranei de la o căptușeală compozită GM /CCL), în care este prezentată o metodă de înregistrarea a formei, dimensiunii și a spațiului contactelor pietrișului care acționează asupra geomembranei de la un strat de drenaj granular.

Contactele pietrișului acționând asupra unei geomembranei HDPE cu grosimea de 1,5 mm sunt apoi cuantificate pentru două tipuri de pietriș (GP1 de 50 mm și GP2 de 25 mm) cu argilă compactată sub geomembrană și supusă unei presiuni aplicate de 250 de kPa. Ampretele și alungirile geomembranei sunt de asemenea studiate. [Bra08-2]

Obiectivul acestei lucrări este cuantificarea contactelor pietrișului care acționează direct asupra geomembranei și deformările rezultate ale geomembranei. O anumită geomembrană HDPE fără nici un strat de protecție, așezată pe argilă compactată, este examinată la o presiune verticală de 250 de kPa. Două tipuri de pietriș grosier sunt testate. Eficacitatea geotextilului în reducerea alungirilor geomembranei este de asemenea prezentată.

În lucrarea [Bra10], autorii publică o cercetare experimentală, intitulată „*Geomembrane puncture and strains from stones in an underlying clay layer*” (Perforarea și alungirea Geomembranei din cauza pietrelor aflate în stratul de argilă de sub geomembrană la un sistem de captușeală GM/CCL).

Lucrarea prezintă rezultatele experimentelor fizice în ceea ce privește asumarea posibilității de perforare a unei geomembrane HDPE de 1,5 mm grosime și, dacă nu apare perforarea, deformările de alungire maxime în geomembrană deformată de la pietre plasate intenționat în stratul de argilă de sub geomembrana supusă unei încărcări verticale.

Influența presiunii aplicate, conținutului de apă al argilei, dimensiunea pietrei, adâncimea de îngropare a pietrei și a stratului de protecție asupra deformării de alungire a geomembranei sunt prezentate. Cu excepția unui singur test făcut la o presiune de 2000 de kPa, geomembrana nu a fost perforată în testele făcute pe termen scurt, totuși, a fost supusă unor amprente locale și tensiunile de alungire de la pietrele de sub geomembrane ce pot depăși limitele de alungire impuse.

Deformările de alungire de la pietre specifice de 35 mm au fost testate când îngroparea inițială în suprafața argilei a fost neglijabilă, chiar și la presiuni până la 1000 kPa. Creșterea conținutului de apă al argilei sau creșterea dimensiunii pietrei au fost găsite ca fiind benefice în ideea de a reduce alungirile de la pietrele îngropate, totuși, aceasta face geomembrana să fie sensibilă la aceste particule aflate pe suprafața argilei și astfel acest lucru implică o inspecție atentă și îndepărtarea pietrelor vizibile de pe suprafața argilei. [Bra10]

În experimentul prezentat în lucrarea [Gud07], este examinată rezistența la perforare a unei geomembrane HDPE de 1,5 mm grosime provocată de stratul de sort așezat pe geomembrană când este supusă unei presiuni verticale de 3000 kPa timp de 10 ore, geomembrană a fost găsită ca fiind perforată de pietre nedetectate din stratul de argilă compactată.

Concluzii prezentate privind perforarea

Geomembrana a fost perforată în testele 18, 19a și 19b de către sort. Aceste teste au fost făcute fără strat de protecție între sort și geomembrană și s-a aplicat o presiune verticală de 2000kPa. În celelalte teste nu a apărut nici o perforare de la pietrele plasate intenționat în argilă, singura perforare a apărut în testul 19a de la o piatră ascuțită cu dimensiuni mult mai mici decât cele plasate intenționat.

Se poate vedea cum cu creșterea dimensiunii pietrei de la 32 la 100 mm, un conținut inițial de apă de 16% și o presiune aplicată de 200 kPa duce la o creștere a alungirii de aproximativ 3%, în timp ce o crește a dimensiunii pietrei de la 35 la 100 mm, la un conținut inițial de apă de 12% și o presiune aplicată de 1000 kPa, duce la o creștere a alungirii geomembranei de aproximativ 5%. Depășirea pe termen lung a acestor limite poate duce la creșterea potențialului de perforare.

2.2.4.3.e. Influența existenței unei cute asupra deplasărilor argilei sau geobentonitei

În lucrarea [Dic06], autorii prezintă un experiment analitic intitulat „*Deformations of a geosynthetic clay liner beneath a geomembrane wrinkle and coarse gravel*” (Deformațiile căptușelii geocompozite de sub cuta geomembranei și sortul grosier).

Efectul cutei asupra deformațiilor GCL-ului și eficacitatea diferitelor straturi de protecție pentru minimalizarea deformațiilor GCL sunt examinate. Deși cuta suportă o descreștere în înălțime și lățime, golul dintre cuta geomembranei și GCL rămâne chiar și la presiuni aplicate mai mari de 100 de kPa. Grosimea GCL-ului descrește în apropierea cutei și crește sub cută datorită extrudării bentonitei în golul de sub cută.

Umplerea cu sort induce variații mari în grosimea GCL-ului când este testat fără strat de protecție. Aceste variații au fost induse de către extrudarea bentonitei de sub zonele de contact ale sortului.

Concluziile cercetării prezentate pentru:

Cazul: deformațiile GCL-ului când este supus unui singur contact de sort

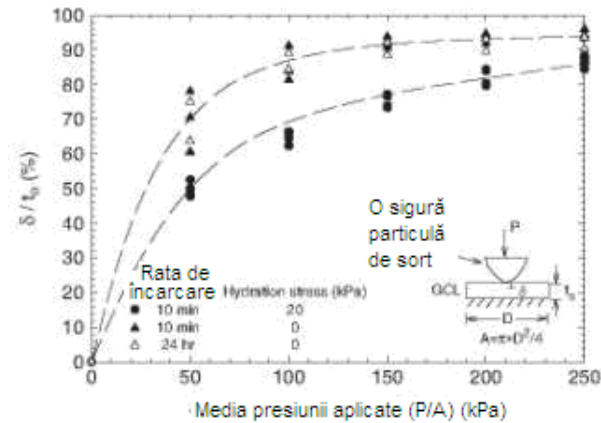


Figura 2.92 - Deflecția verticală a GCL-ului când este supusă unei singure particule de sort [Dic06].

Cazul: Deformațiile GCL-ului când este supus condițiilor simulate de celulă: suprafața profilată

Figura 2.94B arată de asemenea că unde geomembrana a fost în contact cu GCL-ul ($X < 110$ mm, $X > 270$ mm) s-au dezvoltat zone locale subțiri ale GCL-ului, separate de zone mai groase. Au fost un total de 18 amprente locale observate în această zonă, fiecare corespunzând acțiunii unei particule de sort pe geomembrană.

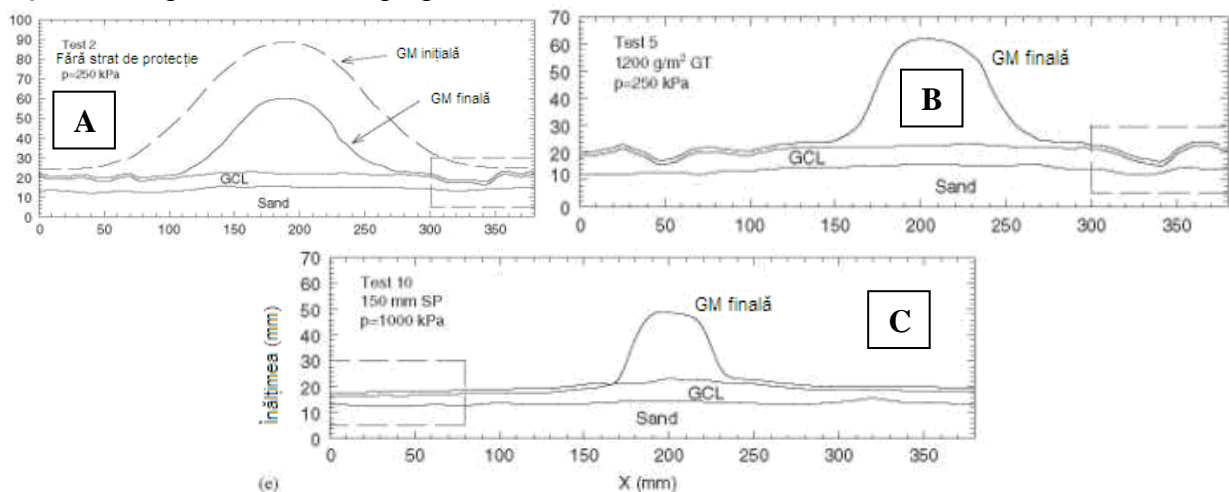


Figura 2.94 - Secțiuni transversale printr-un punct cu cea mai mică grosime [Dic06].

În lucrarea experimentală [Dik10] intitulată „Local deformation of a geosynthetic clay liner from an isolated gravel contact” (Deformațiile locale ale căptușelii cu geocompozit de la un contact izolat cu o particulă de sort), autorii prezintă rezultatele de la experimentele unde o singură particulă de sort este în contact direct cu un GCL-ul cu diametru de 63 mm și supus încărcării verticale.

Experimentele sunt făcute pentru a studia influența ratei de încărcare și a conținutului inițial de apă al GCL-ului asupra deformațiilor locale ale GCL-ului.

Rezultatele arată că deformațiile GCL-ului sunt în mare parte independente de rata de încărcare pentru condițiile examinate deoarece majoritatea deformațiilor apar imediat după aplicarea primului increment de încărcare.

De asemenea, pentru toate cazurile, majoritatea deformațiilor apar la nivel scăzut de efort. De fapt, în toate testele, mai mult de 50% din deformațiile totale ale GCL-ului apar în primele 5 incremente egale de încărcare (154 N) și mai mult de 95% din eventuala deformație totală apare înainte de al patrulea increment.

Reducerea grosimii GCL-ului impune necesitatea alegerii unui strat adecvat de protecție deasupra GM nu doar pentru a preveni perforarea acesteia ci și pentru a limita deformațiile GCL-ului.

2.2.4.3.f. *Straturi de protecție alternative*

Un strat de protecție deasupra căptușelii GM-GCL este necesar pentru a limita avariile fizice determinate de stratul de drenaj granular așezat deasupra GM. Un strat de nisip cu grosimea de 150 mm a fost găsit ca fiind un excelent protector la presiuni verticale de 250 Pa.

Totuși, folosirea unui strat de nisip ar putea să nu fie practică în multe cazuri, fie nedeziderabil în anumite locații din cauza lipsei disponibilității nisipului sau a costurilor ridicate. Un strat de protecție este cerut deasupra căptușelii GM-GCL pentru:

- să prevină perforarea GM;
- să limiteze deformațiile de alungire la GM pentru a reduce potențialul efortului de fisurare și dezvoltarea de găuri;
- să limiteze amprentele în GCL.

În lucrarea [Dik08], autorii prezintă o cercetare experimentală intitulată „*Assessment of alternative protection layers for a geomembrane – geosynthetic clay liner (GM–GCL) composite liner*” (Evaluarea unor straturi de protecție alternative pentru fundațiile compozite GM-GCL), în care rezultatele experimentale prezintă eficacitatea unor sisteme alternative de protecție deasupra căptușelii față de un strat de drenaj din sort (D50) la o presiune aplicată de 250 kPa.

Rezultatele cercetării: fără strat de protecție

În testul 1 nu s-a folosit nici un strat de protecție deasupra GM în ideea de a fi o bază de comparare, acest caz nefiind întâlnit în practică. Deși alungirile au fost foarte mari, 19%, nu a avut loc perforarea GM.

150 mm nisip (SP): Vârful alungirii GM în testul 2 a fost de 0,1%. Aceasta a fost cea mai mică dintre toate testele făcute în această cercetare.

Strat de argilă de 150 mm: În testele 3-6 un strat de argilă de 150 mm a fost pus deasupra GM. Vârful alungirii GM calculat în aceste teste a fost de 0,3-0,4%. După stratul protector cu nisip, argila a fost cea mai eficientă în minimalizarea alungirii GM dintre straturile investigate..

Geotextil: În testele 9-12 s-a pus un geotextil (GT₁, GT₂, GT₃ și GT₅) deasupra GM. Creșterea mesei geotextilului are ca rezultat o descreștere a vârfului alungirii GM.

În lucrarea [War05], autorii prezintă o cercetare analitică și experimentală, „*Suitability of shredded tires for use in landfill leachate collection systems*” (Oportunitatea folosirii rumeșului de cauciucuri în sistemele de colectare a levigatului de la depozitele de deșeuri ecologice), în care folosirea rumeșului de cauciuc (pneuri) în sistemele de colectare a levigatului la depozitele ecologice este investigată în următoarele direcții:

- compresibilitatea rumeșului de cauciuc și modificările rezultate în conductivitatea hidraulică sub diferite forțe de încărcare aplicate;
- efectul pH-ului levigatului asupra compresibilității rumeșului de cauciuc și asupra comportamentului conductivității hidraulice.

Obiectivele principale ale acestui studiu au fost de a evalua performanțele rumeșului de cauciuc ca o alternativă la rocile măcinate în sistemele de colectare a levigatului. Concret, obiectivele au fost:

- evaluarea oportunității folosirii rumeșului de cauciuc (pneuri) în straturile de drenaj și colectare a levigatului de la depozitele de deșeuri din punct de vedere al compresiunii și modificărilor rezultate în conductivitatea hidraulică a rumeșului sub diferite forțe aplicate pentru condiții de proiectare a depozitului;

- determinarea diferențelor în compresiune și conductivitatea hidraulică rezultate în diferite tipuri de rumeș de la diferite surse;

- investigarea efectului unui levigat acid (pH între 4-5) din timpul unei faze timpurii de funcționare a depozitului, biodegradarea organică a gunoii și alcalinitatea levigatului (pH

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

între 8-9), din rumeguș și implicit asupra proprietăților de conductivitate hidraulică sub diferite condiții de compresiune și pH.

Rezultatele cercetări: compresibilitatea așchii de cauciuc

O reprezentare grafică a rezultatelor compresibilității este prezentată în figura 2.105 cu media efortului normal reprezentat pe o axă, iar pe cealaltă axă alungirea normală observată.

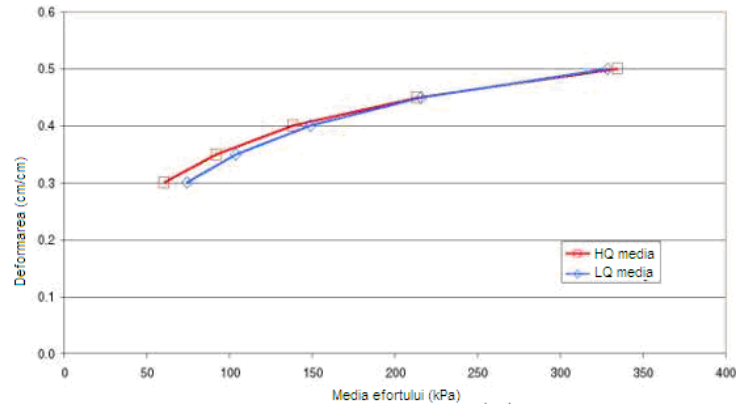


Figura 2.105 - Alungirea în funcție de efortul vertical [War05].

O relație liniară aproximativă între alungire și logaritmul efortului a fost observată așa cum este prezentată în figura 2.106.

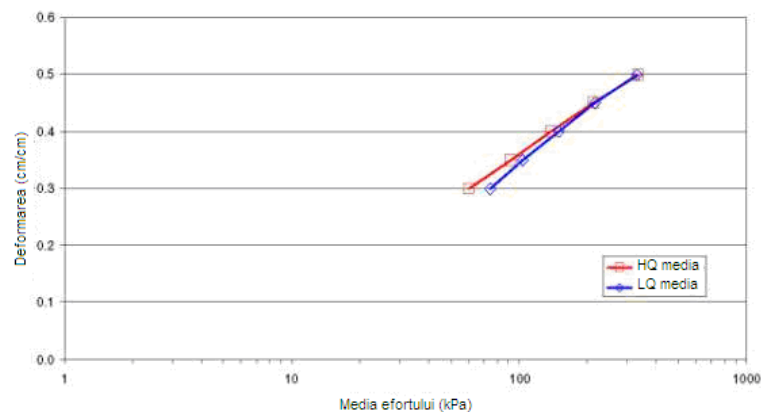


Figura 2.106 - Alungirea în funcție efortul vertical pe o scară semi-lungă [War05].

O pierdere semnificativă de presiune din cauza frecării dintre așchii și peretele cilindrului de testare în timpul testului de compresibilitate a fost observată. Această pierdere a fost măsurată de celula de încărcare de la baza mostrei, comparând cu presiunea aplicată la vârful mostrei de către mașina de testare universală. Încărcarea maximă aplicată măsurată la baza mostrei a fost 40% din încărcarea maximă aplicată la vârful mostrei.

Conductivitatea hidraulică a rumegusului de pneuri.

Figura 2.107 reprezintă o reprezentare grafică a mediei conductivității hidraulice măsurate la incrementele de alungire de 0,3; 0,35; 0,4; 0,45 și 0,5, găsite pentru fiecare test descris mai sus.

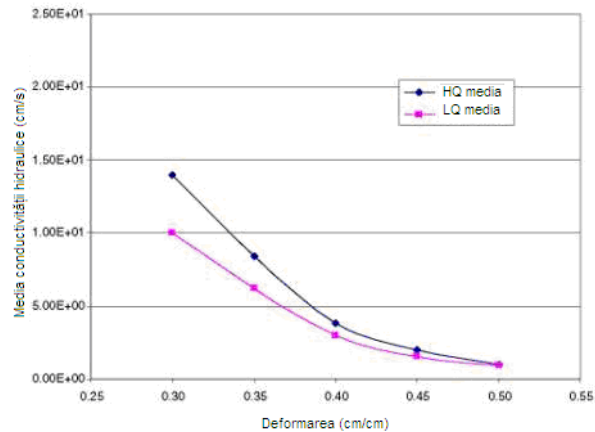


Figura 2.107 - Media conductivității hidraulice în funcție de deformările rumegușului [War05].

Rezultatele de mai sus arată ca rumegușul de cauciucuri are o conductivitate hidraulică mare (mai mult de 1 cm/s).

CONCLUZII

În acest capitol s-a realizat un studiu amplu asupra cunoașterii stadiului actual al sistemelor de impermeabilizare, de colectare și transport al levigatului de la depozitele de deșuri ecologice în plan mondial, european și național din punct de vedere mecanic.

Temperatura este unul dintre principalii factori care poate genera avarii ale impermeabilizării, în mod special geomembranei.

Din cercetarea autorilor [Cad93] (*Influența temperaturii. Geomembrana cu suprafață albă*) prezentată în acest referat reiese ca și concluzii următoarele aspecte:

- absorbția de energie solară este mai mare în cazul geomembranei de culoare neagră decât cea în cazul geomembranei de culoare albă;

- dilatarea/contractarea trebuie determinată pentru a lua în considerare cantitatea ondulată care trebuie scoasă sau păstrată atunci când se instalează căptușeala;

- efortul de fisurare în geomembranele HDPE crește cu 40% pentru fiecare grad Celsius cu care crește temperatura GM;

- argila aflată sub geomembranele amplasate pe pante a fost găsită mai deshidratată decât cea de pe baza celulei.

Cum suprafața unei GM expuse în timpul instalării poate depăși uneori și câteva sute de m² este necesară o metodă de cuantificarea a acestor cute.

Din lucrarea „*Cuantificarea cutelor GM folosind fotografii aeriene și procesarea digitală a imaginii*” se evidențiază importanța cuantificării cutelor în ideea de a sublinia importanța alegerii orei și temperaturii adecvate de instalare. De asemenea, modul de formare al cutelor scoate în evidență două tendințe majore de formare a acestora: în direcția de rolare și perpendicular pe direcția de rolare.

Foarte important este stabilirea unei reguli de definire a cutelor: din punct de vedere hidraulic și din punct de vedere geometric. Din cercetările care tratează acest subiect reiese că cutele, cu înălțimea de peste 3 mm, acoperă, aproximativ, 25 % din suprafața de geomembrană instalată. Însă cel mai important aspect este că, din punct de vedere hidraulic, 90% dintre aceste cute au fost găsite ca fiind conectate hidraulic.

Se pune problema stabilirii unor limite privind dimensiunile cutelor care apar la instalare și cum se modifică aceste dimensiuni (lățime, înălțime și lungime) pe parcursul instalării celorlalte elemente constructive ale gropii conforme precum și pe parcursul exploatării gropii conforme.

Din cercetările, prezentate în această teză, care s-au ocupat de acest subiect reiese următoarele concluzii:

- deformațiile GM sunt mai mari în prezența cutei;

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

- distribuția eforturilor verticale care acționează asupra cutei se face în general pe cele două părți laterale ale cutei;
 - redistribuirea eforturilor de la vârful cutei către laturile cutei conduc la forțe de contact mai mari lângă cută;
 - deoarece deformațiile cutei sunt în mare parte controlate de către deflecțiile solului și majoritatea deflecțiilor cutelor au loc la presiuni joase, eforturile mai mari vor influența mai mult deflecția laterală a geomembranei, astfel făcând cuta mai îngustă;
 - alungirile din deformările cutei sunt predominant comprimate, fapt ce poate determina fisurări;
 - maximul alungirilor fără cută a fost de 32 %, în timp ce în prezența cutelor a fost de 42%;
 - amprente locale se dezvoltă de regulă din cauza contactului dintre sort și geomembrană;
 - magnitudinea amprentelor este influențată de existența cutelor precum și de sort și stratul de protecție;
 - rezultatele arată că amprente au fost mai mari lângă cută și mai mici în vârful cutei;
 - stratul de protecție nu afectează semnificativ deformarea formei cutei însă este capabil să reducă amprente locale;
 - alungirile geomembranei au fost calculate de la amprente măsurate folosind procedura autorului din lucrarea [Tog00] la trei locații diferite: 1) în apropierea cutei, 2) de-a lungul cutei, 3) în vârful cutei, așa cum se indică în figura 2.68C;
 - rezultatele arată că amprente au fost mai mari lângă cută și mai mici în vârful cutei; de exemplu, cu strat de protecție, alungirea maximă de lângă cută a fost de 8 ori mai mare decât cea din vârful cutei;
 - amprente locale din geomembrana fac și mai mult rău în prezența unei cute. De exemplu, maximul alungirii fără cută a fost 32%, în comparație cu valoarea maximă de 42% cu cută;
 - redistribuirea eforturilor de la vârful cutei către laturile cutei conduc la forțe de contact mai mari lângă cută;
 - dispariția golului de sub cută depinde de presiunea aplicată, conținutul de apă al argilei, stratul de protecție, stratul de drenaj;
 - sub presiune are loc deplasarea în jos a GM și deplasarea în sus, în golul de sub cută, a argilei;
 - pentru o argilă mai rigidă, cu un conținut mai mic de apă, este necesară o presiune mai mare pentru a determina dispariția golului de sub cută;
 - are loc deplasarea argilei de sub geomembrană în golul de sub cută modificând dimensiunile cutei prin descreșterea înălțimii și lățimii acesteia;
 - extrudarea argilei în golul de sub cută este așteptată a modifica dimensiunile cutei prin descreșterea acesteia în înălțime și lățime; dintre cele două dimensiuni efectul mai mare este asupra lățimii decât asupra înălțimii;
 - stratul de protecție influențează deformațiile cutei (din cercetări rezultă că un strat de protecție de nisip conferă cea mai bună protecție la deformarea geomembranei).
- De remarcat că în cercetările prezentate aplicarea presiunii se face uniform, în incremente, presiunea fiind apoi menținută pentru o anumită perioadă de timp. Temperatura la care sunt făcute testele fiind de 20-22° C. Pentru testele experimentale s-a folosit celula de testare dezvoltată de autorii lucrărilor [Gud06] și [Bra06].
- Contactul dintre sort și GM este de asemenea o preocupare curentă. Au fost stabilite anumite tipuri de contacte precum și care este ponderea acestora. Un subiect mai puțin studiat (sau chiar de loc studiat) a fost stabilirea deformațiilor GM în funcție de tipul de contact dintre GM și sort.

Cunoașterea naturii contactelor pietrișului și solicitările asociate este esențială înainte de modelarea numerică a interacțiunii fizice între pietriș, stratul de protecție și GM. Sunt prezentate rezultate de la experimente unde o singură particulă de sort este în contact direct cu un GCL-ul cu diametru de 63 mm și supus încărcării verticale. Experimentele sunt făcute pentru a studia influența ratei de încărcare și a conținutului inițial de apă al GCL-ului asupra deformațiilor locale ale GCL-ului.

Rezultatele arată că deformațiile GCL-ului sunt în mare parte independente de rata de încărcare pentru condițiile examinate deoarece majoritatea deformațiilor apar imediat după aplicare primului increment de încărcare.

De asemenea, pentru toate cazurilor, majoritatea deformațiilor apar la nivel scăzut de efort. De fapt, în toate testele, mai mult de 50% din deformațiile totale ale GCL-ului apar în primele 5 incremente egale de încărcare (154 N) și mai mult de 95% din eventuala deformație totală apare înainte de al patrulea increment.

Implicațiile extrudării laterale ale GCL-ului sunt neclare. Se poate imagina că reducerea grosimii GCL-ului prin extrudare poate conduce la o mărire a infiltrațiilor prin căptușeală.

Sortul pus peste geocompozit, folosit ca și sistem de drenaj, poate da forțe de contact mari și variabile ce acționează asupra căptușelii.

S-a determinat că aceste eforturi concentrate pot determina migrarea bentonitei în zonele cu eforturi scăzute rezultând o reducere locală a grosimii GCL-ului. Reducerea grosimii GCL-ului impune necesitatea alegerii unui strat adecvat de protecție deasupra GM nu doar pentru a prevenii perforarea acesteia ci și pentru a limita deformațiile GCL-ului.

Protejarea GM față de acțiunea sortului cade în sarcina stratului de protecție. Dintre straturile de protecție studiate cel mai eficient s-a dovedit a fi nisipul. Un strat de nisip de 150 mm deasupra GM reduce deformațiile acesteia sub limitele impuse de normative (normativul european prevede o limită de 6%, iar cel american o limită de 3%).

Însă folosirea nisipului uneori este imposibilă din cauza lipsei. Un alt motiv ar fi folosirea nerecuperabilă a unor resurse. Pentru aceasta s-a studiat folosirea în locul stratului de drenaj a rumegușului de pneuri.

Așa cum reies din cercetarea prezentată în acest referat (*Oportunitatea folosirii rumegușului de cauciuc în sistemele de colectare a levigatului de la depozitele de deșeuri ecologice*) rumegușul de cauciuc prezintă unele avantaje dar și dezavantaje.

La prima categorie menționăm: reducerea deformațiilor GM; creșterea conductivității hidraulice și creșterea înălțimii depozitului. La cea de-a doua categorie intră: creșterea riscului de perforare datorat firelor de sârmă din pneuri și creșterea cantității de pneuri necesară din cauza gradului mare de compresibilitate.

2.2.5. Obiectivele tezei de doctorat

OBIECTIVE

Pentru realizarea acestui scop s-au impus spre rezolvare următoarele obiective:

1. Relevarea importanței, necesității și a motivației studiului comportării mecanice a geomembranei din cadrul depozitelor ecologice de deșeuri;

2. Prezentarea generală constructiv funcțională a unui depozit de deșeuri, factorii de risc și impact care apar în urma realizării acestuia, importanta geomembranei și rolul acesteia în impermeabilizarea depozitului de deșeuri.

3. Realizarea unui studiu bibliografic amănunțit privind cercetările teoretice și experimentale asupra comportamentului mecanic al geomembranelor în general și în mod special privind factorii de conturbare a rolul funcțional al acestora cum ar fi apariția cutelor, a efectelor produse de cutare sau perforări ale acestora. Sintetizarea și structurarea amănunțită a informației a relevat nișa de cercetare ce va fi abordată în teza.

4. Realizarea unui studiu privind influența radiației solare asupra depozitelor ecologice concretizat în determinarea unui model matematic privind calculul densității totale a fluxului radiant la o anumită oră într-o locație data;

5. Realizarea cu ajutorul limbajului de programare Auto LISP a unei aplicații computerizate de calcul a radiației solare totale la ora și locația stabilită de utilizator. Se pot face astfel predicții și strategii privind momentul instalării geomembranei pentru a evita cât mai mult cutarea acesteia.

6. Realizarea unor studii, pe modele virtuale predictive bazate pe metoda elementelor finite, de analiză a comportamentului geomembranelor;

7. Realizarea unor analize numerice, folosind elemente de tip solid, asupra unei plăci de geomembrană la o temperatură dată în vederea determinării deplasărilor;

8. Proiectarea și modelarea 3D a unui dispozitiv virtual de testare a geomembranelor cutate, sistem ce permite definirea constrângerilor de mișcare (de tip axă-axă, plan-plan, distanță etc) și care permit definirea sistemului mecanic din punct de vedere al libertăților de mișcare.

9. Realizarea testării virtuale a comportamentului unei geomembrane cutate în dispozitivul de testare propus;

10. Modelarea virtuală a geomembranei cu 1 cută și cu 2 cuto dispuse la 30°, 45° și 90°, analiza neliniară cu elemente de tip „solide” și testarea statică cu elemente de tip “Shell” a modelelor geomembranei cu 1-2 cuto;

11. Realizarea unui sistem experimental și proiectarea experimentelor pentru încercarea la întindere uniaxială a epruvetelor geomembranei HDPE cu și fără concentratoare de tensiune

Capitolul 3. Studii privind influența radiației solare asupra depozitelor ecologice. Modele matematice.

În cadrul acestui capitol propunem un model matematic ce are ca finalitate determinarea radiației solare în orice zi a anului, orice moment și orice locație. Modelul realizat are ca scop studiul influenței radiației solare asupra depozitelor ecologice cu aplicabilitate în determinarea și predicția unor condiții ideale de montaj ținând seama de influența mare a temperaturii asupra apariției unor factori ce afectează rolul funcțional al geomembranelor. Etapele de realizare a modelului sunt prezentate în continuare.

3.1. Radiația solară. Introducere

Radiația solară este radiația electromagnetică emisă de Soare având lungimi de undă din întregul spectru al undelor electromagnetice. Aceasta este un factor natural important în crearea climei Pământului și are o influență semnificativă asupra mediului. Radiația ultravioletă (UV) a spectrului solar joacă un rol important în multe procese în biosferă. Pe lângă multitudinea de efecte benefice, aceasta poate fi, de asemenea, foarte periculoasă în cazul în care nivelul ei întrece limitele sigure – capacitatea de auto-protecție a unor specii biologice scade rapid. În cazul oamenilor, acest lucru se referă în primul rând la piele și ochi.

3.2. Influența radiației solare

În situația cerului senin, radiația directă este maximă și cea a bolții cerești (radiația difuză) este minimă, iar în cea a unei nebulozități crescute fenomenul se prezintă invers. Per total, creșterea nebulozității duce la scăderea radiației globale.

Datorită variației distanței Pământ-Soare în timpul unui an, fluxul energiei solare atinge un maxim la periheliu (2 ianuarie) și un minim la afeliu (4 iulie).

Parametrii cei mai importanți care influențează radiația solară la nivelul solului sunt: latitudinea, longitudinea, sezonul, ziua, ora și cantitatea de vapori și praf din atmosferă.

3.3. Poziția soarelui în raport cu o suprafață plană

Unghiul realizat de razele Soarelui cu planul Ecuatorului poartă numele de *declinație*. Unghiul de declinație variază între 23°45' (21 iunie) și -23°45' (21 decembrie).

În lucrarea [Dan80] se definește *timpul solar* ca fiind timpul în care Soarele traversează meridianul observatorului și depinde de mișcarea unghiulară aparentă a Soarelui de-a lungul cerului.

Pe baza acestei definiții se poate realiza conversia timpului local în timp solar, astfel:

- se determină o constantă de corecție pentru diferența dintre longitudinea locației analizate și meridianul de care depinde timpul local;

- se echivalează 1° longitudine cu 4 minute de timp știind că Pământul efectuează într-o zi o rotație completă de 360°;

3.4. Mișcarea aparentă a soarelui pe bolta cerească [Lum09]

Soarele efectuează o mișcare de rotație aparentă pe bolta cerească cu viteza unghiulară $\omega = \pi/12$ rad/h = 15 grd/h. Poziția soarelui pe cer este determinată de unghiul orar H și de unghiul de înălțare h . Unghiul orar se măsoară în jurul axei polilor între planul meridian al locului și cercul orar al stelei

$$h = \arcsin \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left[23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right] + \cos \left[23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right] \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \quad (3.22)$$

unde: λ - este latitudinea locului;

N - numărul zilei curente din an;

τ - ora legală;

τ_0 - ora trecerii Soarelui la meridian, se considera $\tau_0 = 12$.

3.5. Constanta solară [Lum09]

Media anuală a intensității radiației solare la limita superioară a atmosferei se numește *constantă solară* $S_{sn} = 1367$ W/m².

Pentru ziua N a anului, constanta solară se calculează cu formula de corecție:

$$S = S_{sn} (1 + 0,0034 \cos N) \quad (3.25)$$

Utilizând relația (3.25) pentru luna ianuarie 2012 s-a obținut reprezentarea din figura 3.3.

3.6. Densitatea fluxului radiant la nivelul solului [Lum09]

La sol, radiația are două componente: componenta *directă* atenuată și componenta *difuză*. Acestora li se adaugă radiația reflectată de sol numită *albedou*.

Componenta directă B a densității fluxului solar la sol, pe o suprafață normală la direcția razelor soarelui, în condiții de cer senin, este:

$$B = S \cdot a \cdot e^{\left(-\frac{b}{\sinh} \right)} \quad (3.26)$$

unde: h - unghiul de înălțare al Soarelui față de planul orizontal al locului, este dat de relația (3.22)

Aplicând relația (3.26) în care se înlocuiește (3.21) și (3.25) se obține componenta directă B a densității fluxului solar la sol:

$$B = S_{sn} (1 + 0,0034 \cos N) \cdot a \cdot e^{\left(\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right)} \quad (3.27)$$

unde: S_{sn} - constantă solară $S_{sn} = 1367 \text{ W/m}^2$;
 λ - este latitudinea locului;
 N - numărul zilei curente din an;
 τ - ora legală;
 τ_0 - ora trecerii Soarelui la meridian, se consideră $\tau_0 = 12$;
 $a = 0,88$ și $b = 0,28$; constante locale.

$$D = S_{sn} (1 + 0,0034 \cdot \cos N) \cdot \left[0,2710 - 0,2939a \cdot e^{\frac{-b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right] \cdot \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \quad (3.30)$$

Densitatea fluxului radiant total pe suprafața orizontală se numește *iradianță* sau *radiația globală* G :

$$G = B \sin h + D \quad (3.31)$$

Înlocuind relația componentei directe B (3.27) a componentei difuze D (3.30) și a sinusului unghiului h de înălțare al Soarelui față de planul orizontal (3.21) se obține relația pentru radiația globală G :

$$G = S_{sn} (1 + 0,0034 \cos N) \cdot a \cdot e^{\left(\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right) \cdot \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} + \left\{ S_{sn} (1 + 0,0034 \cdot \cos N) \cdot \left[0,2710 - 0,2939a \cdot e^{\frac{-b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right] \cdot \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23,4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \quad (3.32)$$

unde: S_{sn} - constantă solară $S_{sn} = 1367 \text{ W/m}^2$;
 λ - este latitudinea locului;
 N - numărul zilei curente din an;
 τ - ora legală;
 τ_0 - ora trecerii Soarelui la meridian, se consideră $\tau_0 = 12$;
 $a = 0,88$ și $b = 0,28$; constante locale.

Albedoul solului este:

$$(Ab) = \frac{r \cdot B \cdot \sin h}{2} \quad (3.33)$$

unde, pentru condițiile locale, $r = 0,55$.

Înlocuind ecuațiile (3.21) și (3.27) în ecuația (3.33) se obține relația finală pentru albedou:

$$(Ab) = \frac{r}{2} \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \cdot \left[S_{sn} (1 + 0,0034 \cos N) \cdot a \cdot e^{\left(\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right) \right] \cdot \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} + \left\{ S_{sn} (1 + 0,0034 \cdot \cos N) \cdot \left[0,2710 - 0,2939 a \cdot e^{\left(\frac{-b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right) \right] \right\} \cdot \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \quad (3.34)$$

unde: S_{sn} - constantă solară $S_{sn} = 1367 \text{ W/m}^2$;
 λ - este latitudinea locului;
 N - numărul zilei curente din an;
 τ - ora legală;
 τ_0 - ora trecerii Soarelui la meridian, se consideră $\tau_0 = 12$;
 $a = 0,88$ $b = 0,28$ și $r = 0,55$; constante locale.

Densitatea totală a fluxului radiant este:

$$G_t = G + (Ab) \quad (3.35)$$

Folosind relațiile (3.32) pentru iradianță și (3.34) se obține următoarea ecuație pentru densitatea totală a fluxului radiant:

$$G_t = S_{sn} (1 + 0,0034 \cos N) \cdot a \cdot e^{\left(\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right) \cdot \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284 + N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \left\{ S_{sn} (1 + 0.0034 \cdot \cos N) \cdot \left[0.2710 - 0.2939 a \cdot e^{-\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right] \right. \\
 & \cdot \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \left. \right\} + \\
 & + \left\{ \frac{r}{2} \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \cdot \right. \\
 & \cdot \left. \left\{ S_{sn} (1 + 0.0034 \cos N) \cdot a \cdot e^{-\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right] \right. \\
 & \cdot \left. \left\{ \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} + \right. \\
 & + \left. \left\{ S_{sn} (1 + 0.0034 \cdot \cos N) \cdot \left[0.2710 - 0.2939 a \cdot e^{-\frac{b}{\sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right]} \right] \right. \right. \\
 & \cdot \left. \left. \sin \lambda \cdot \sin \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} + \cos \left\{ 23.4 \sin \left[\frac{2\pi(284+N)}{365} \right] \right\} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \left[\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{12} \right] \right\} \right\} \left. \right\}
 \end{aligned}
 \tag{3.36}$$

- unde: S_{sn} - constantă solară $S_{sn} = 1367 \text{ W/m}^2$;
 λ - este latitudinea locului;
 N - numărul zilei curente din an;
 τ - ora legală;
 τ_0 - ora trecerii Soarelui la meridian, se consideră $\tau_0 = 12$;
 $a = 0,88$, $b = 0,28$ și $r = 0,55$; constante locale.

Aplicând relația densității totale a fluxului radiant G_t din ecuația (3.36), pentru București se obțin variațiile redată în figura 3.8 (1 iulie 2012).

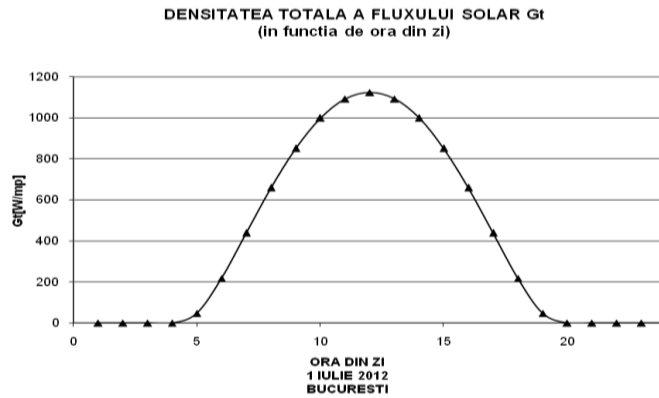


Figura 3.8 - Densitatea totală a radiației solare pentru București 1 iulie 2012 [Lum09].

3.7. Program pentru calculul radiației totale solare în raport cu timpul și în funcție de poziția locației pe glob

Pentru realizarea unui program de calcul pentru calculul radiației solare totale s-a utilizat limbajul AutoLISP.

Pentru realizarea programului au fost parcurse următoarele etape:

- în AutoCAD s-a încărcat o hartă a României care s-a scalat folosind grila de scară astfel încât 1 unitate să fie egală cu 1 km (Figura 3.9);
- peste harta încărcată drept imagine s-a desenat conturul României utilizând comanda PLINE. Acest contur a fost prelucrat transformând segmentele de dreaptă în curbe Spline (Figura 3.10);

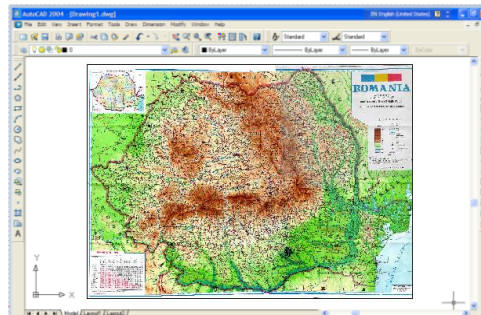


Figura 3.9 - Harta României încărcată în AutoCAD.

- peste conturul hărții s-au trasat paralele și meridianele approximate prin drepte sau arce de cerc (Figura 3.11);
- intersecția meridianelor, approximate prin drepte, converge spre poziția Polului Nord geografic (Figura 3.12);
- s-au poziționat principalele orașe (Figura 3.12);

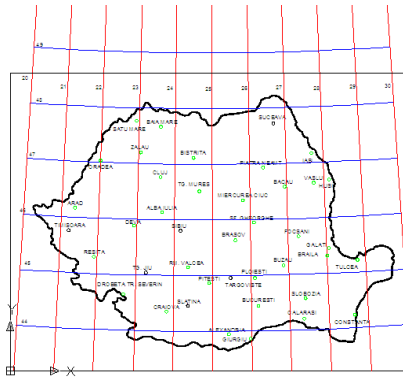


Figura 3.12 - Principalele orașe poziționate pe hartă.

- după poziționarea elementelor grafice s-au obținut principalele valori folosite ulterior la scrierea codului AutoLISP:

- distanța pe meridian între două paralele:

$$\Delta R/^{\circ}\text{lat}=113,5399 \text{ km}/^{\circ}\text{latitudine.}$$

- valoarea în grade geometrice a unui grad de longitudine:

$$\Delta \text{long}=0,745^{\circ}/\text{longitudine.}$$

Pornind de la aceste două valori și de la harta reconstituită în AutoCAD s-au obținut următoarele subrutine de calcul:

- o subrutină care, pornind de la locația dată prin latitudine și longitudine, determină coordonatele carteziene raportate la sistemul fixat pe harta;

- o subrutină care preia coordonatele de pe hartă a unei locații și le transformă în coordonate geografice exprimate în grade de latitudine și longitudine;

- o subrutină care calculează radiația totală solară pornind de la latitudinea și longitudinea locației și de la data pentru care se face calculul.

Acest nucleu de calcul a fost completat cu următoarele subrutine:

- secvențe de calcul pentru locații predefinite care calculează radiația totală pentru valori x,z carteziene raportate la sistemul fix amplasat în colțul din stânga-jos al hărții;

- secvențe de calcul pentru determinarea distanțelor între două locații sau între o locație și Polul Nord geografic.

Aceste subrutine sunt apelate dintr-un menu “pull-down” stocat într-un fișier cu extensia .mnu, care, prin încărcare directă permite afișarea unui menu personalizat prezentat în figura 3.13A.

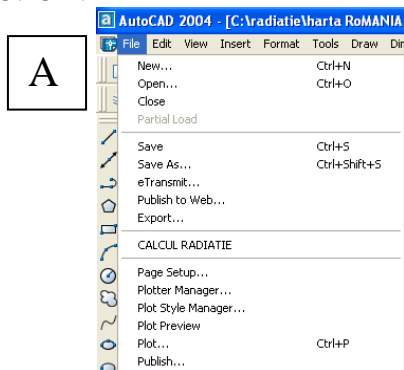
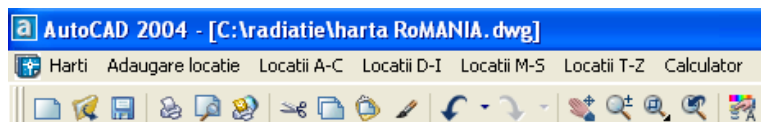


Figura 3.13. A- Meniul personalizat al programului de calcul al radiației totale;



Capitolul 4. Studii pe modele virtuale predictive bazate pe metoda elementelor finite de analiză a comportamentului geomembranelor

4.1. Introducere în proiectarea și ingineria asistată de calculator [Lum09]

4.1.1. Un scurt istoric al conceptului CAD (Computer Aided Design)

Apariția și evoluția sistemelor de calcul a permis automatizarea procesului de concepție, de proiectare și de cercetare. Încă din primii ani, proiectarea asistată a apărut în strânsă legătură cu evoluția mașinilor automate de prelucrare care au evoluat spectaculos de la apariție și până în prezent.

Apariția programelor de proiectare parametrizată s-a datorat, în principal, evoluției industriei de automobile, militare sau a bunurilor de larg consum. Aceste programe evaluate permit integrarea completă a întreprinderii industriale a începutului de mileniu și fac legătura cu etapa de evoluție postindustrială a omenirii.

4.1.2. Conceptul MEF (Metoda Elementelor Finite). Generalități.

Acest concept a apărut din necesitatea existenței unor sisteme puternice de calcul de rezistență, de transmitere a căldurii și a altor fluxuri și câmpuri întâlnite în inginerie. De asemenea, optimizarea formelor pornind de la anumite criterii s-a dezvoltat în urma adâncirii concurenței pe piața produselor din industria aeronautică, a autovehiculelor și a bunurilor de larg consum.

Din punct de vedere matematic, metoda elementelor finite este o metodă generală de rezolvare aproximativă a ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care descriu fenomene fizice.

În principiu, metoda constă în descompunerea domeniului de analiză (liniar, bidimensional sau tridimensional) în porțiuni de formă geometrică simplă, analiza acestora și recompunerea domeniului respectând anumite cerințe matematice sau fizice.

4.1.3. Etapele de rezolvare a unei probleme cu ajutorul metodei elementelor finite [Lum09]

În general, etapele de abordare a unei simulări bazate pe metoda elementelor finite sunt:

- generarea modelului tridimensional;
- definirea condițiilor la limită, forțelor, presiunilor, surselor de căldură și radiațiilor, etc. sau a legilor de definire ale acestora;
- împărțirea modelului inițial în elemente finite și obținerea modelului geometric discretizat;
- rularea analizei și obținerea de hărți de tensiuni, deplasări, deformații sau temperaturi,

Pentru generarea tridimensională a geomembranei virtuale s-a utilizat programul SolidWorks, ce permite obținerea modelelor tridimensionale parametrizate.

În cele ce urmează, se detaliază modelarea tridimensională a geomembranei pentru situațiile studiate, modelul fiind astfel conceput, încât să permită transformarea facilă într-un model cu dimensiuni diferite prin parametrizarea geometrică completă. [Pop08-2]. Modelul obținut pentru geomembrană este prezentat în figura 4.2

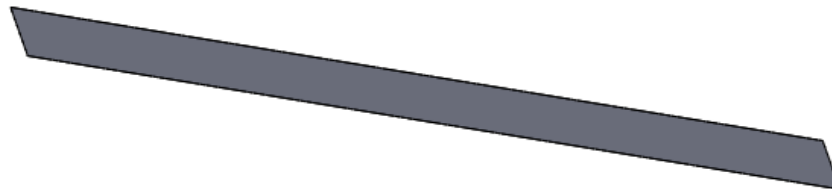


Figura 4.2 – Suprafața geomembranei (5600x40000 mm) ce urmează a fi extrudată la 2mm.

4.1.4. Testarea statică a unei geomembrane (placă plană) la o temperatură exterioară dată. Testarea cu element solid.

Prin intermediul programului SolidWorks se realizează simularea numerică a tensiunilor și deformațiilor ce apar în geomembrană în urma variației de temperatură pe suprafața acesteia

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

Pentru parametrii, încărcările și elementele definite pentru modelul virtual simplificat al geomembranei s-a rulat analiza cu elemente finite. Pentru început, s-a considerat o temperatură la nivelul geomembranei de 40°. În figurile 4.6 și 4.7 sunt prezentate hărțile de rezultate obținute în urma analizei.

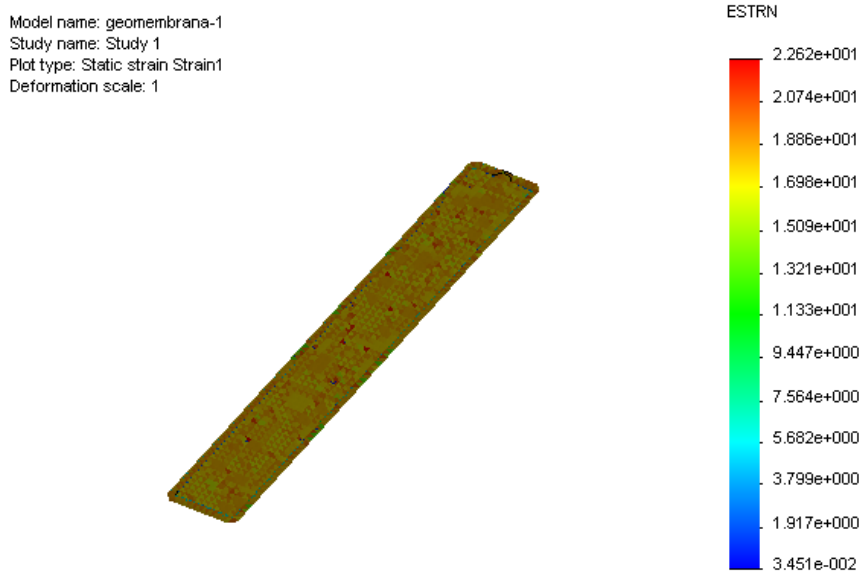


Figura 4.6 - Harta de deformații specifice pentru modelul virtual al geomembranei pentru temperatura de 40°.

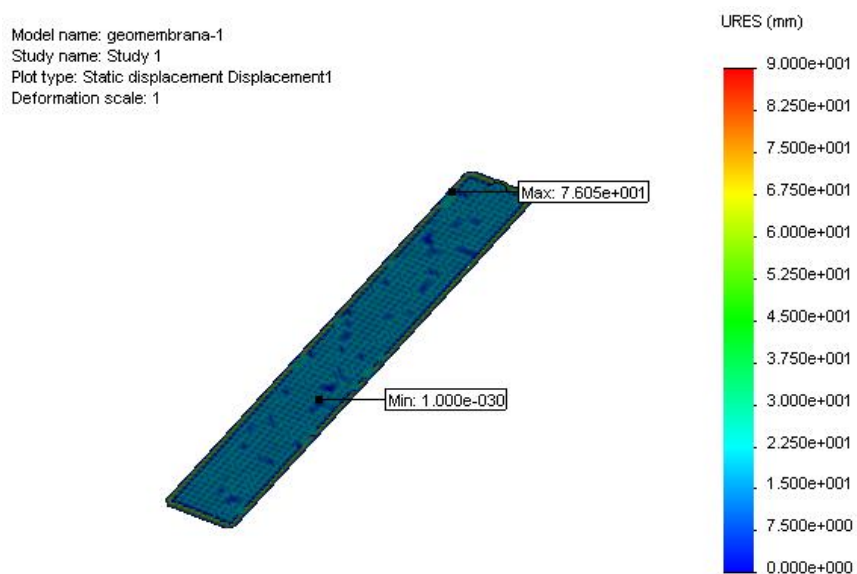


Figura 4.7 - Harta de deplasări nodale totale pentru modelul virtual al geomembranei pentru temperatura de 40°.

Simularea modelului virtual al geomembranei a fost reluată și pentru temperaturile de 50°, 60° și 70°. Valorile maxime ale deplasărilor din hărțile de deplasări ale geomembranei virtuale în funcție de temperatură sunt redate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 - Deplasarea maximă a geomembranei virtuale în funcție de temperatură.

Temperatura la nivelul geomembranei virtuale [°C]	Deplasarea maximă a geomembranei virtuale (înălțime cută) [mm]
---	--

40	76,05
50	126,2
60	176,4
70	226,6

4.2.1. Interpretarea rezultatelor, discuții, concluzii

În urma analizei rezultatelor obținute (hărți, diagrame și valori) pentru modelele virtuale studiate a rezultat că valorile maxime ale tensiunilor au o dispunere pe suprafața geomembranei asemănătoare dispunerii cutelor iar din analiza hărților de deplasări, s-a determinat existența unei dependențe cvasi-liniare a deplasărilor (dilatărilor) în raport cu temperatura dată de radiația solară.

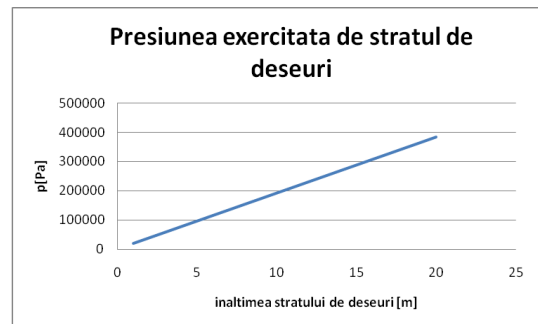
4.3. Sisteme virtuale de testare a geomembranelor cutate

4.3.1. Generalități

În toată lumea, înțelegerea și nevoia de protecție a mediului joacă un rol din ce în ce mai important. Sunt necesare sisteme eficiente de etanșare cu perioadă de viață ridicată pentru protecția apelor subterane, aerului și solului. De aceea studiul etanșezării geomembranelor prin sisteme virtuale de testare are un rol foarte important.

4.3.2. Testarea virtuală a unei geomembrane cu o cută de dimensiuni cunoscute

Sistemul virtual analizat este compus dintr-un strat de argilă de 500 mm, o geomembrană cu o cută, un strat de pietriș sort 20-31 având grosimea de 300 mm, un geotextil și un strat de nisip având grosimea de 200 mm. Baza sistemului studiat are dimensiunile 1000 x 1000 mm (Figura 4.9). Pentru acest sistem s-a calculat în primă fază presiunea exercitată de stratul de deșeuri având o variație liniară în funcție de înălțimea stratului depozitat



În figura 4.10 este prezentată variația liniară a acestei presiuni în funcție de înălțimea stratului de deșeuri.

Figura 4.10

4.4. Studii, analize și simulări realizate pe geomembrane

4.4.1. Generalități

În prezenta lucrare sunt realizate studii diferite utilizând metoda elementelor finite și care sintetizează comportamentul geomembranelor cutate supuse diferitelor încărcări date de diferitele grosimi de deșeuri care solicită geomembrana cutată. De asemenea, s-a imaginat și proiectat un dispozitiv de testare care să permită studierea comportamentului diferitelor straturi care compun un depozit ecologic.

4.4.2. Proiectarea și modelarea 3D a unui dispozitiv de testare a geomembranei [Pop08]

În cadrul acestui subcapitol s-a realizat proiectarea și modelarea unui dispozitiv virtual de testare pentru studiul comportamentului geomembranei.

În figura 4.14 este prezentat modelul final al dispozitivului experimental de testare a geomembranei.

În ansamblul dispozitivului de testare au fost introduse: un strat de argilă, geomembrană cutată, un strat de pietriș, folie de geotextil și un strat de nisip pentru a avea un model similar cu cel real.

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

Aceste elemente au fost adăugate la ansamblul dispozitivului de testare propriu-zis pentru a avea un model similar cu cel real, fiind folosit pentru testări virtuale prin intermediul metodei elementului finit.

Ansamblul dispozitivului de testare a geomembranei este compus dintr-un paralelipiped din tablă de oțel groasă de 5 mm având fața frontală din plexiglass. Elementul mobil al dispozitivului este ansamblul piston.

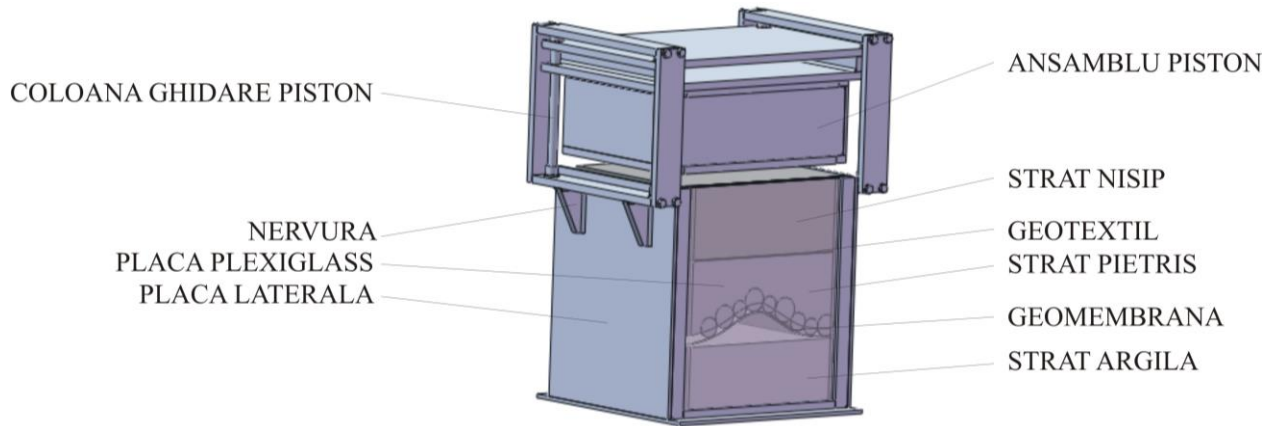


Figura 4.14 - Ansamblul dispozitivului de testare. [Pop08]

4.4.3. Analiza transmiterii presiunii exercitate la geomembrana în dispozitivul experimental, folosind un program de analiză cu elemente finite

Pentru a studia modul de transmitere a presiunii exercitate asupra ansamblului piston s-a utilizat modelul dispozitivului pentru testarea geomembranei. Acesta s-a importat într-un program de analiză cinematică. Asupra ansamblului piston a fost exercitată o presiune de 250 kPa, sarcină echivalentă apăsării unui strat de deșeuri cu o grosimea de 13m. Distanța inițială dintre stratul de nisip și capul pistonului este de 7,5 mm. Durata experimentului virtual este de 0,2 s.

S-au realizat încărcări cu geomembrane cu o cută și două cute dispuse la unghiuri diferite. În urma experimentului virtual s-au determinat variația tensiunilor maxime von Mises și a deformațiilor specifice principale maxime a căror variație este prezentată în figurile 4.18 și 4.19 A. În figura 4.19B se prezintă diagrama comparativă a tensiunilor maxime von Mises pentru diferite tipuri de cure

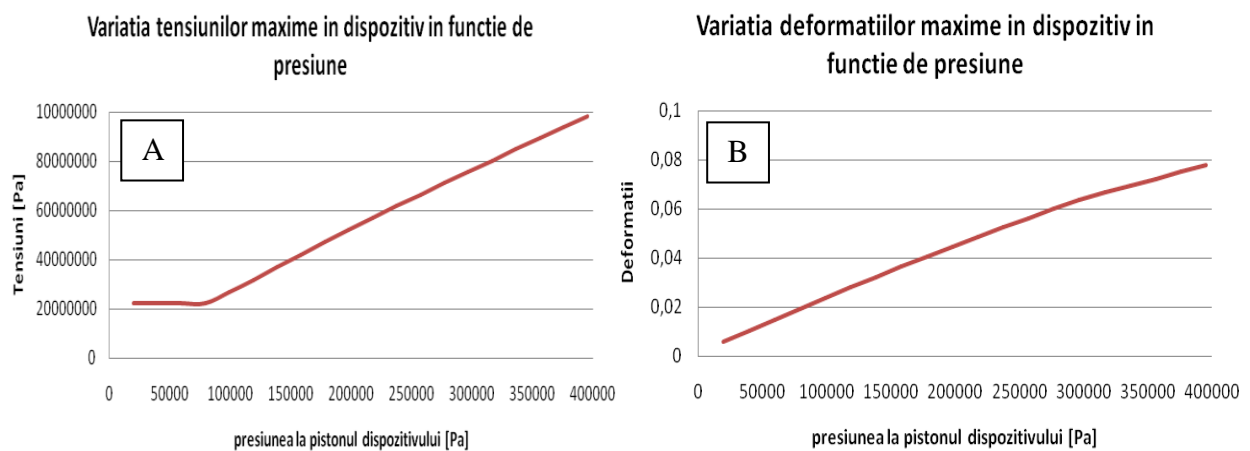


Figura 4.18 –**A** - Variația tensiunilor maxime von Mises în dispozitivul virtual experimental în funcție de presiunea exercitată la piston; **B** - Variația deformațiilor specifice principale maxime în dispozitivul virtual experimental în funcție de presiunea exercitată la piston. [Pop08]

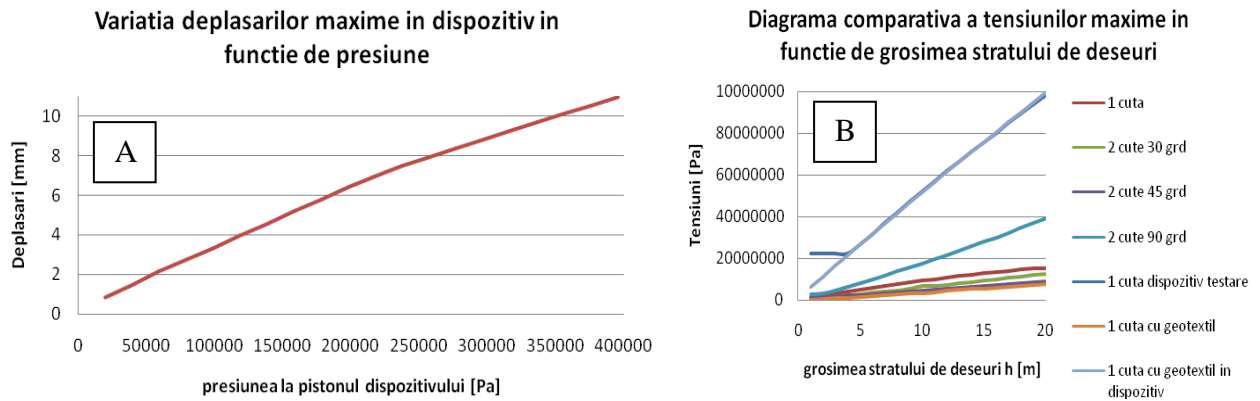


Figura 4.19 – **A** - Variația deplasărilor maxime în dispozitivul virtual experimental în funcție de presiunea exercitată la piston; **B** - Diagrama comparativă a tensiunilor maxime von Mises. [Pop08]

Valorile deplasărilor se încadrează în gama valorilor medii a celor patru cazuri studiate anterior, deci dispozitivul de testare poate fi utilizat pentru studiul deplasărilor geomembranei.

4.5. Modelarea virtuală și analiza cu element solid a comportamentului geomembranei HDPE folosind aplicația AnsysWorkbench 15.0.7

4.5.1. Modelarea virtuală a geomembranei cu 1 cută și cu 2 cute dispuse la 30° , 45° și 90°

Modelarea 3D a geomembranelor cutate s-a realizat utilizând aplicația DesignModeler al aplicației AnsysWorkbench 15.0.7. Modelarea CAD a geomembranelor cu o cută și cu două cute dispuse la diferite unghiuri a necesitat proceduri de deplasare, rotire, extragere booleană și verificare a consistenței finale pentru entitatea „cută” din cadrul modelului Figura 4.24. De asemenea pentru constrângerea deplasării geomembranei pe direcție $-Y$ s-a conceput un nou component, denumit „Ground” (Figura 4.23A). Cele 2 componente se pot diferenția prin culoare și poziție în figura 4.23B.

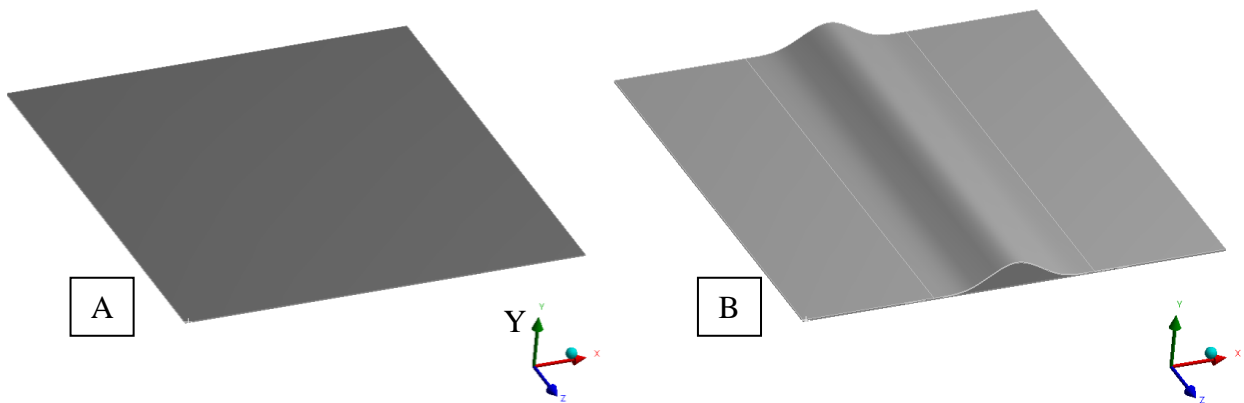


Figura 4.23 – A- Componenta „Ground”; B- Modelul virtual geomembrană (1cută) – „Ground”.

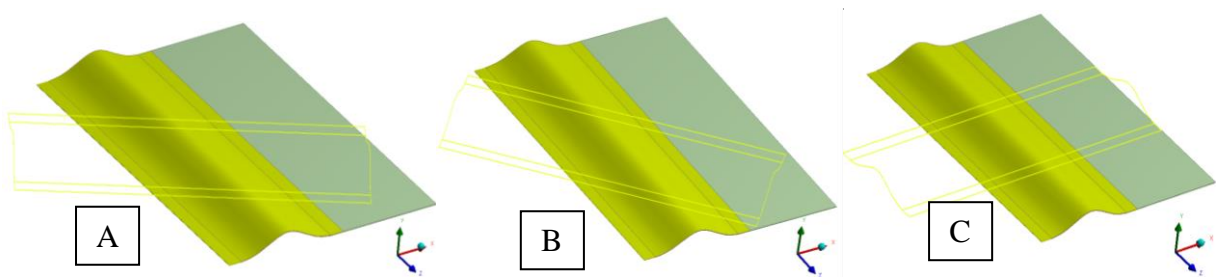


Figura 4.24 – Rotația cutei geomembranei la: A- 30° ; B- 45° ; C- 90° .

În urma acestor operații s-au realizat cele trei modele ale geomembranei prevăzute cu 2 cute cu înclinare la 30° , 45° și 90° .

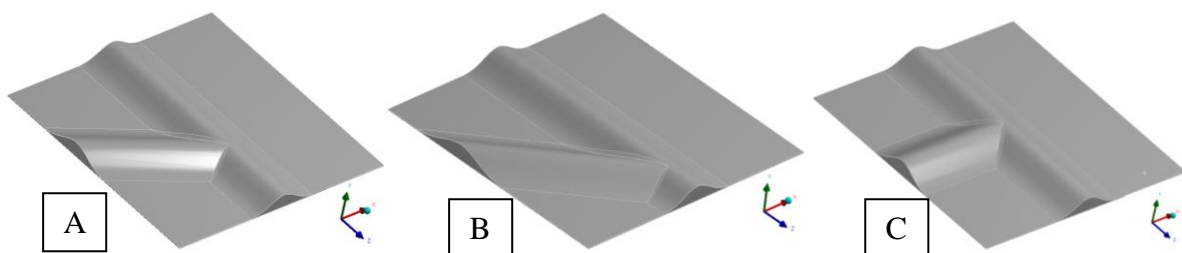


Figura 4.25 – Modelele geomembranei cu 2cute – „Ground” cu înclinare la: A- 30° ; B- 45° ; C- 90° .

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

4.5.2. Analiza neliniară a geomembranei având o singură cută

În cadrul tezei s-au parcurs toți pașii necesari unei simulări numerice cu elemente finite.> Condițiile la limită sunt prezentate în figura 4.28 .

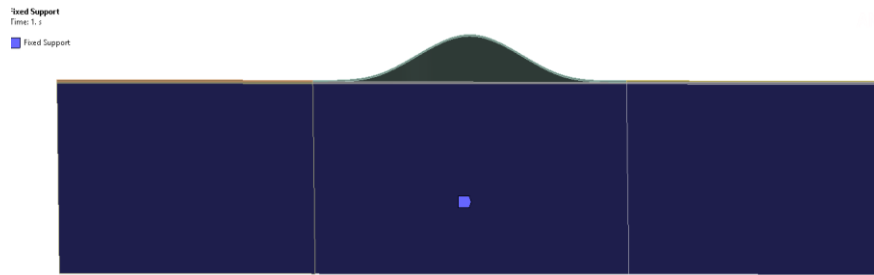


Figura 4.28 – Încăstrare pe suprafața de bază a componentei „Ground”; DOF = 0; Imagine de jos.

S-a aplicat o presiune uniform distribuită pe suprafețele superioare ale geomembranei cu o valoare de 0,0192 MPa, pe direcția normală, ce presupune sarcina aplicată de 1m grosime al stratului de deșeuri (Figura 4.29);

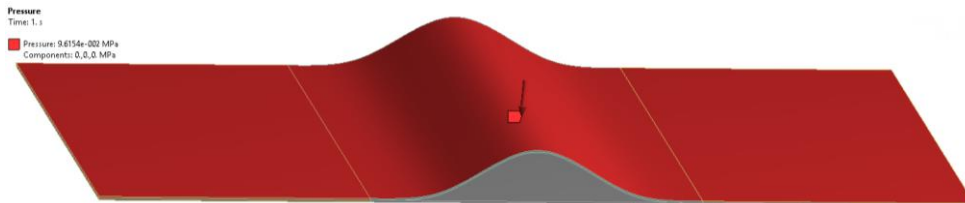


Figura 4.29 – Aplicarea presiunii uniform distribuită pe suprafețele superioare ale geomembranei cu o singură cută.

- caracteristicile de material izotrop folosit pentru geomembrană sunt prezentate în Figura 4.30; Imaginea este captată din mediul de simulare din „Data Engineering”.

Properties of Outline Row 3: Polyethylene			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	1020	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	0.00176	C ⁻¹
5	Reference Temperature	22	C
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
8	Young's Modulus	2000	MPa
9	Poisson's Ratio	0.394	
10	Bulk Modulus	3.1447E+09	Pa
11	Shear Modulus	7.1736E+08	Pa
12	Tensile Yield Strength	63	MPa
13	Compressive Yield Strength	0	MPa
14	Tensile Ultimate Strength	33	MPa
15	Compressive Ultimate Strength	0	MPa
16	Isotropic Thermal Conductivity	0.2256	W m ⁻¹ C ⁻¹
17	Specific Heat	1386	J kg ⁻¹ C ⁻¹

Figura 4.30 - Caracteristicile de material izotrop folosit pentru geomembrană.

- pentru soluționarea acestei analize statice neliniară a fost nevoie de o integrare în timp pas cu pas, pentru aceasta este nevoie de resurse hard mult mai mari iar pentru atingerea convergenței a fost nevoie de folosirea unui număr mult mai mare de iterații; timpul de rulare a fost aproximativ de 3 ore;

Pentru setul de rezultate au fost extrase următoarele valori pentru geomembrană: deplasarea totală (Figura 4.31A), deformația specifică totală echivalentă (Figura 4.31C), tensiunea maximă echivalentă von Mises (Figura 4.31D), tensiunea maximă principală ce

reprezintă tensiunea maximă de întindere (Figura 4.31E) și tensiunea minimă principală ce reprezintă tensiunea minimă de compresiune (Figura 4.31F).

Zona de interes și de maximă importanță o reprezintă tensiunea von Mises și deplasarea totală a geomembranei. Datorită presiunii impuse de 0,0192 MPa, valoarea pentru deplasarea totală este de 30,74 mm iar valoarea maximă calculată pentru tensiunea maximă echivalentă von Mises pentru geomembrană este 22,075 MPa.

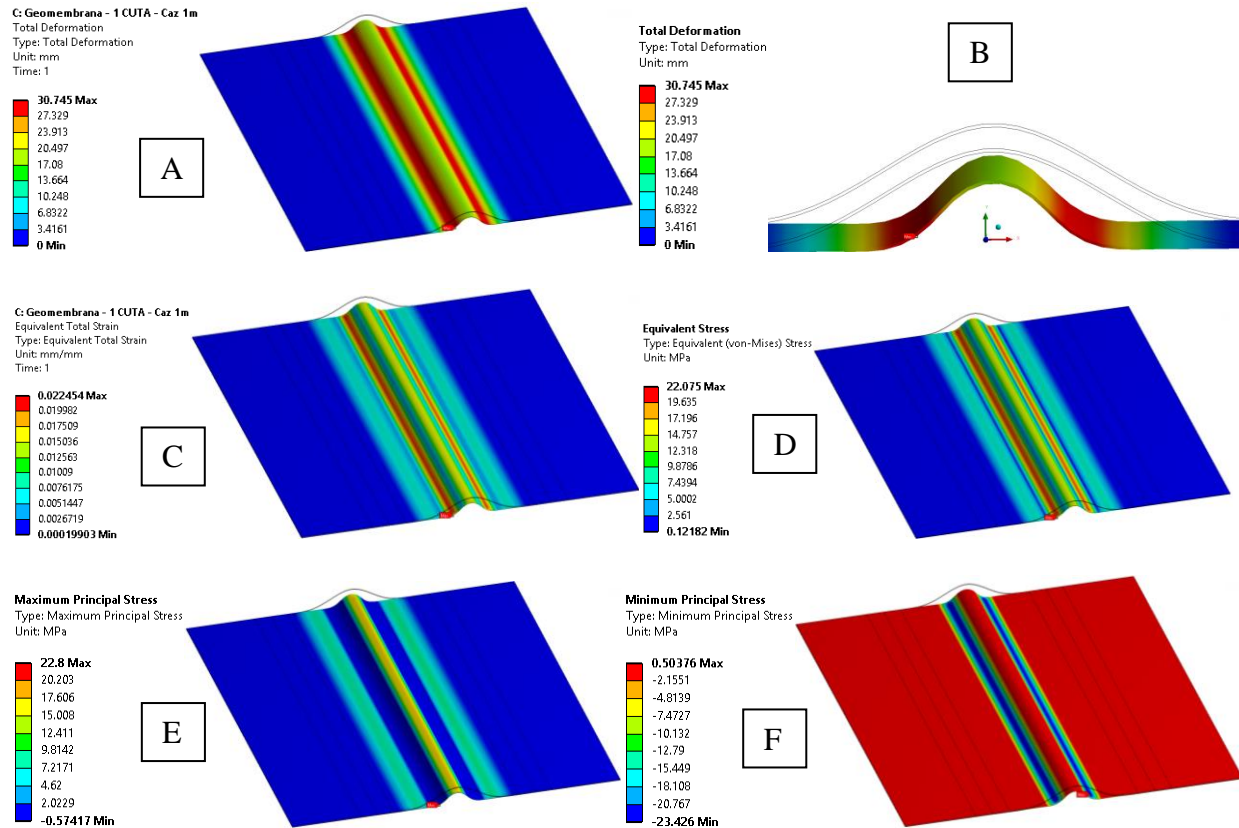


Figura 4.31 – Imagini pentru valorile obținute în urma analizei: **A** - deplasare totală; **B** - deplasare totală, imagine frontală; **C** – deformația specifică totală; **D** - tensiunea maximă echivalentă von Mises; **E** - tensiunea maximă principală; **F** - tensiunea minimă principală.

Ținând cont de valorile presiunii exercitate de înălțimea stratului de deșeuri (de la 1m la 20 de m), am luat în calcul pentru analize valorile presiunii pentru 5m, 10m, 15m și 20m.

În cadrul tezei sunt prezentate pentru fiecare dintre variantele de mai sus aceleași imagini ca și cele din figura 4.31.

Rezultatele obținute pentru cele 5 analize, având sarcina aplicată pentru înălțimea stratului de deșeuri de 1m, 5m, 10m, 15m și 20m pentru deplasarea totală (DT), deformația specifică echivalentă totală (DET) și tensiunea maximă echivalentă von Mises (TME), sunt prezentate și tabelar în cadrul tezei.

4.5.3. Analiza geomembranei cu două cute dispuse la 30°

Pentru elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 30° am efectuat aceleași operații ca la modelul geomembranei cu o singură cută.

Pentru setul de rezultate au fost extrase următoarele: deplasarea totală (Figura 4.38A), deformația specifică totală echivalentă (Figura 4.38C), tensiunea maximă echivalentă von Mises (Figura 4.38D), tensiunea maximă principală ce reprezintă tensiunea principală de întindere

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

Datorită presiunii impuse de 0,0192 MPa, deplasarea totală este de 22,48 mm iar valoarea maximă calculată pentru tensiunea maximă echivalentă pentru geomembrană este 27,33 MPa.

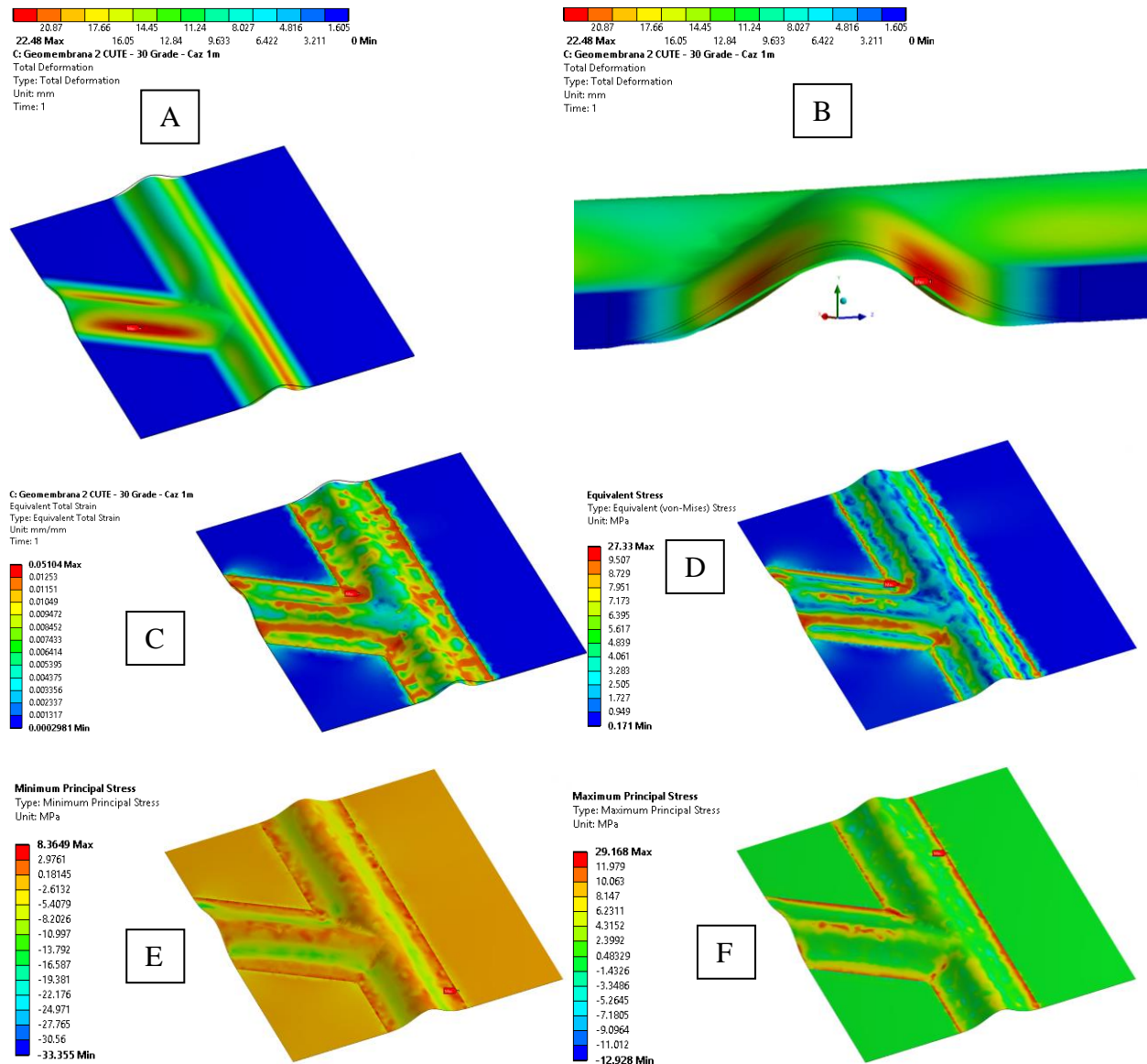


Figura 4.38 – Imagini pentru valorile obținute în urma analizei modelului de geomembrană prevăzută cu 2 cute dispuse la 30°: **A**- deplasare totală; **B** - deplasare totală, imagine locală; **C**- deformația specifică totală; **D**- tensiunea maximă echivalentă von Mises; **E**- tensiunea maximă principală; **F**- tensiunea minimă principală.

La fel ca și în cazul analizelor geomembranelor cu o cută s-au realuat simulările numerice și valorile ale presiunii corespunzătoare înălțimilor de 5m, 10m, 15m și 20m ale stratului de deșeu.

4.5.4. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 45°

Pentru elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 45° am efectuat aceleași operații ca și în situațiile precedente. În urma soluționării rețelei de noduri și elemente s-au obținut pentru analiză un număr total de 231431 noduri și 42006 elemente (Figura 4.43).

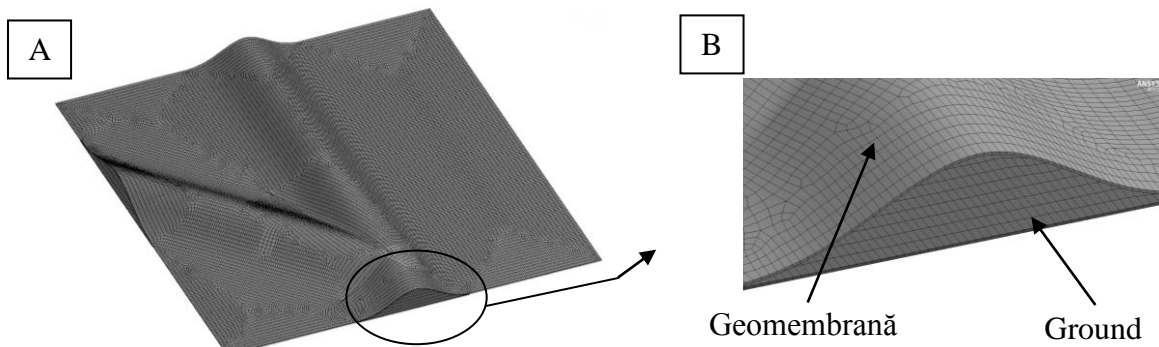


Figura 4.43 – **A**- Rețeaua de noduri și elemente pentru modelul de geomembrană cu 2 cute dispuse la 45° – „Ground”; **B**- Imagine locală pentru zona cutei.

Rezultatele pentru acest caz sunt prezentate pe larg în teză. In rezumat vor fi sintetizate tabelar la sfârșitul capitolului.

4.5.5. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 90°

Pentru elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 90° am efectuat aceleași operații ca la modelul geomembranei cu o singură cută. În urma soluționării rețelei de noduri și elemente s-au obținut pentru analiză un număr total de 264963 noduri și 45554 elemente (Figura 4.50).

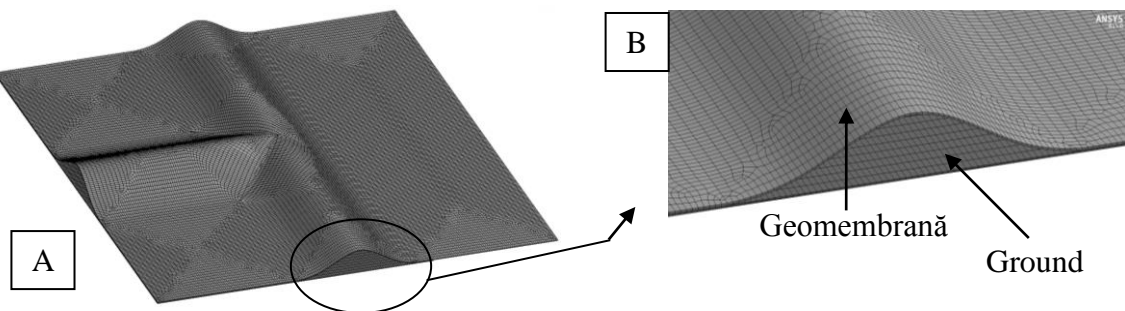


Figura 4.50 – **A** - Rețeaua de noduri și elemente pentru modelul de geomembrană cu 2 cute dispuse la 90° – „Ground”; **B** - Imagine locală pentru zona cutei.

Rezultatele pentru acest caz sunt prezentate pe larg în teză. In rezumat vor fi sintetizate tabelar la sfârșitul capitolului.

4.5.6. Interpretarea rezultatelor. Discuții. Concluzii.

În acest capitol este prezentată o metodă de elaborare a modelelor virtuale 3D ale geomembranei prevăzută cu o singură cută și cu 2 cute dispuse la 30°, 45° și 90°. Pe baza acestor modele virtuale au fost dezvoltate un număr de 20 de cazuri particulare distincte.

Valorile obținute pentru cele 20 de analize, pentru diferite solicitări ale presiunii exercitate de stratul de deșeuri sunt prezentate mai jos în Tabelul 4.9. Pentru evidențierea rezultatelor obținute în urma celor 20 simulări sunt prezentate mai jos hărți cu imaginile obținute pentru tensiunile maxime echivalente (von Mises) și deplasările totale pentru geomembrana prevăzută cu o cută și 2 cute dispuse la 30°, 45° și 90°.

Tabelul 4.9 – Valorile obținute pentru cele 20 de cazuri analizate cu element solid.

H [m]	PESD [MPa]	Geomembrană 1 CUTĂ			Geomembrană 2 CUTE – 30°		
		DT [mm]	DET [mm/mm]	TME [MPa]	DT [mm]	DET [mm/mm]	TME [MPa]
1	0,0192	30,74	0,0225	22,08	22,48	0,0512	27,33

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

5	0,0961	42,19	0,0436	30,01	34,76	0,0856	38,49
10	0,1923	45,64	0,0624	47,23	39,36	0,1129	54,99
15	0,2885	47,35	0,0763	57,59	43,02	0,1214	59,78
20	0,3846	48,56	0,0881	62,58	46,05	0,1305	65,09
—		Geomembrană 2 CUTE – 45°			Geomembrană 2 CUTE – 90°		
1	0,0192	21,97	0,0535	28,75	26,05	0,0743	31,04
5	0,0961	36,86	0,0818	40,81	38,92	0,0941	43,17
10	0,1923	39,39	0,0922	56,17	41,78	0,0913	57,82
15	0,2885	42,98	0,0985	61,13	43,43	0,1453	62,58
20	0,3846	47,13	0,1083	67,32	47,36	0,1583	68,83

H - înălțimea stratului de deșeur;
PESD - presiunea exercitată de stratul de deșeur;
DT - deplasarea totală;
DET - deformația specifică echivalentă totală;
TME - tensiunea maximă echivalentă von Mises.

Principalele contribuții originale ale studiilor și cercetărilor din acest capitol sunt:

1. Simularea numerică a comportamentului geomembranei prin intermediul celor 4 modele dezvoltate, fiecare cu 5 cazuri diferite de încărcare.
2. A fost realizată o analiză statică neliniară (neliniaritate de contact), pentru fiecare model geometric în parte. Sunt prezentate condițiile de analiză în care au loc simulările, condițiile la limită și caracteristicile de material.
3. Determinarea, pe cale numerică, a tensiunilor maxime echivalente, a deformațiilor specifice totale și deplasărilor totale în cadrul geomembranei.
4. Realizarea discretizării geomembranei cu elemente de bună calitate.
5. Realizarea analizelor neliniare pentru toate cazurile dezvoltate, fiind supuse la diferite încărcări pe direcție verticală, ce reprezintă diferite înălțimi pentru stratul de deșeur (1m, 5m, 10m, 15m, 20m).
6. S-au extras imagini pentru tensiunile maxime echivalente, deformațiile specifice totale și deplasărilor totale ale geomembranei.

4.6. Testarea statică cu element de tip “Shell” a modelelor geomembranei cu 1-2 cute

În cadrul acestui subcapitol se reia practic întreaga problematică prezentată în subcapitolul precedent cu utilizarea elementelor de tip „SHELL” în locul celor de tip „SOLID”.

4.6.1. Modelarea virtuală a modelelor geomembranei analizate cu element de tip “Shell”

Am considerat că este important să realizez aceste modele virtuale ale geomembranei cu o cută și două cute, ce urmează a fi analizate cu elemente de tip shell, deoarece aceste elementele sunt mai flexibile, au șase grade de libertate iar numărul lor este mult mai redus.

Modelele analizate cu elemente de tip shell se bazează pe modele geometrice ce includ numai entităților geometrice de tip suprafață. Astfel că, față de modelele solide s-a urmărit transformarea solidelor în suprafețe. (Figura 5.57). Au fost realizate suprafețe după zona superioară a solidelor, acestea fiind apoi translatate pe direcție $-Y$ cu 1mm.

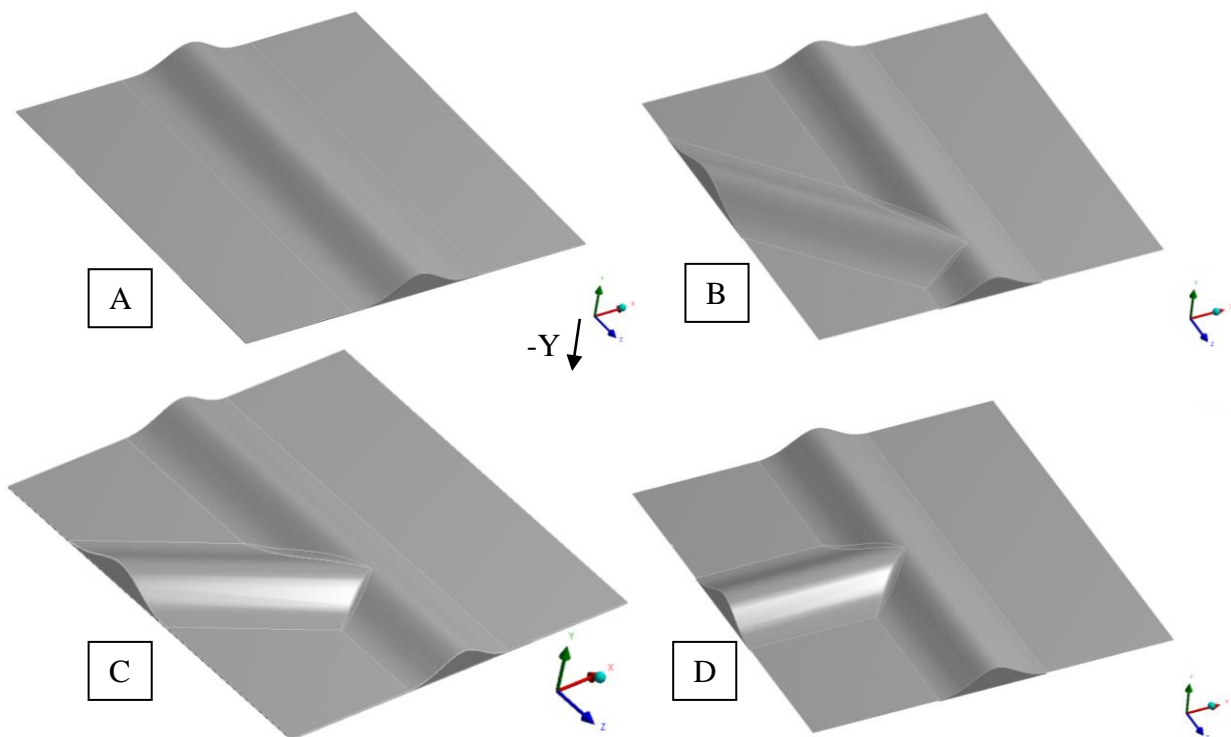


Figura 4.57 – Modelele geomembranei cu o cută și 2 cute realizate din suprafețe: **A** - Geomembrană cu o singură cută; **B** - Geomembrană cu 2 cute dispuse la 30°; **C** - Geomembrană cu 2 cute dispuse la 45°; **D** - Geomembrană cu 2 cute dispuse la 90°.

De menționat faptul că atât dimensiunea geomembranei cât și a componentei ground este de 1m/1m (lungime). Grosimea geomembranei va fi discretizată cu elemente de tip shell de 2mm.

4.6.2. Analiza neliniară a geomembranei având o singură cută

Structurile cu pereți subțiri (suprafețe) discretizate cu elemente de tip shell sunt utilizate pe scară largă în multe industrii. Aceste structuri cu pereți subțiri prezintă provocări unice pentru simularea numerică. Este conceptual simplu a reprezenta o structură cu pereți subțiri, folosind elemente finite 3D tradiționale. Cu toate acestea, este dificil a construi elemente corecte, eficiente pentru pereți subțiri, folosind elemente solide.

Elementele shell oferă o alternativă de calcul eficientă. Ele creează un model matematic 2D ideal pentru structura 3D, ce nu presupune o modelare explicită.

În continuare este prezentată elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 1 cută. Cele 2 componente (geomembrana și ground) au fost plasate într-un

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

sistem global XYZ, acesta fiind necesar pentru plasarea corespunzătoare a sarcinilor și a gradelor de libertate pentru cele 2 componente.

Analiza structurală este static neliniară, neliniaritatea fiind prezentă prin contactul dintre geomembrană (suprafață) și componenta ground (solid). Discretizarea modelului geometric pentru geomembrană (suprafață) în noduri și elemente a fost realizată cu elemente de tip shell 181, pentru impunerea elementelor să includă nod pe mijloc.

Pentru o discretizare eficientă, în urma soluționării rețelei de noduri și elemente s-au obținut pentru analiză un număr total de 33970 noduri și 6250 elemente (Figura 4.58).

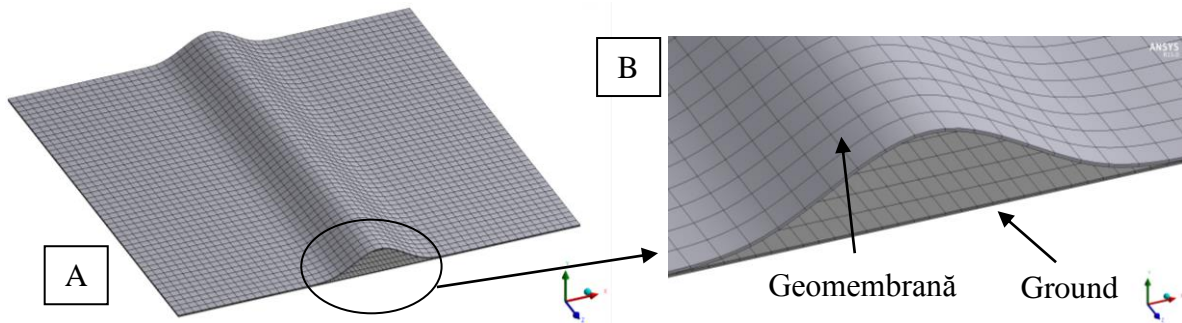


Figura 4.58 – A- Rețeaua de noduri și elemente shell pentru modelul geomembranei cu o cută – ground; B- Imagine locală pentru zona cotei.

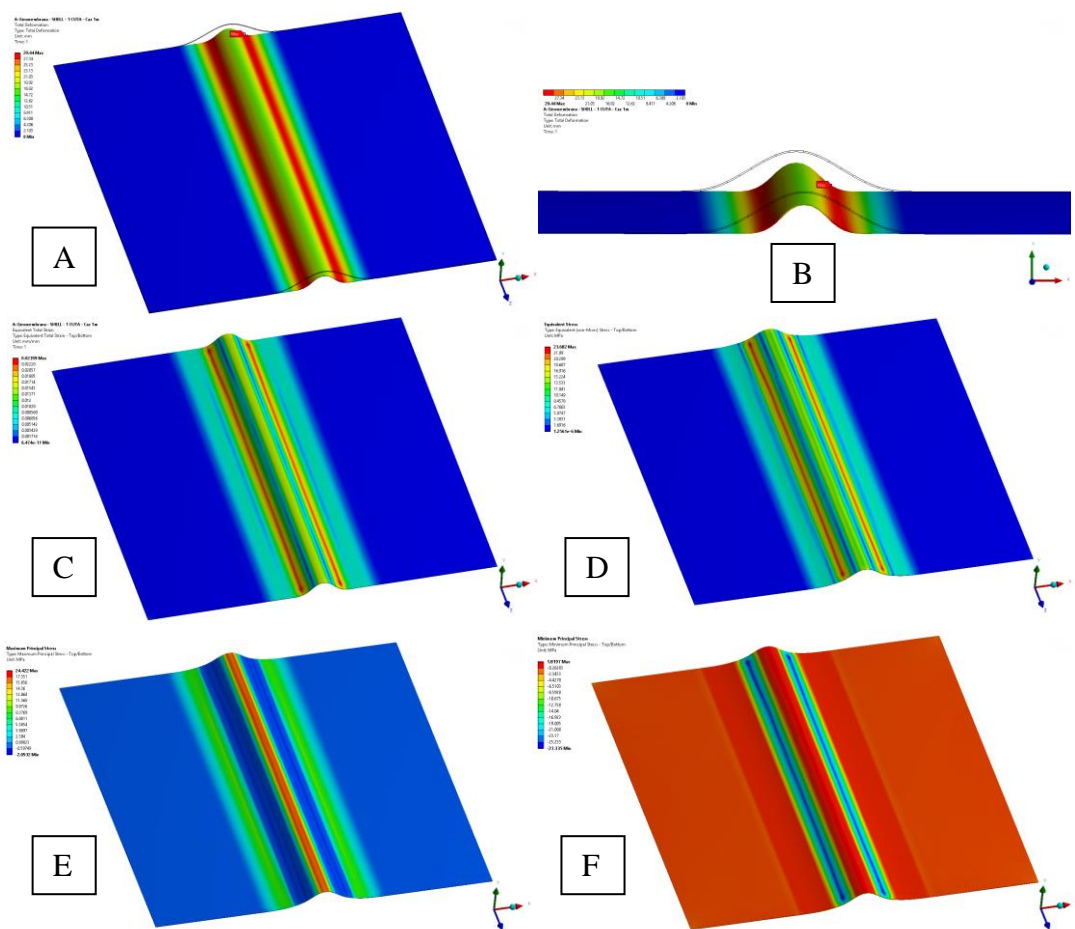


Figura 4.62 – Imagini pentru valorile obținute în urma analizei cu elemente shell : A - deplasare totală; B - deplasare totală, imagine frontală; C - deformația specifică totală; D - tensiunea maximă echivalentă von Mises; E - tensiunea maximă principală; F - tensiunea minimă principală.

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

Pentru setul de rezultate au fost extrase valori pentru geomembrană având următoarele rezultate: deplasarea totală (Figura 4.62A), deformația specifică totală echivalentă (Figura 4.62C), tensiunea maximă echivalentă von Mises (Figura 4.62D), tensiunea principală maximă ce reprezintă tensiunea principală de întindere (Figura 4.62E) și tensiunea principală minimă ce reprezintă tensiunea minimă de compresiune (Figura 4.62F).

Valorile obținute prezentate mai sus reprezintă analiza modelului geomembranei cu o singură cută analizată cu elemente de tip shell pentru cazul aplicării sarcinii datorate stratului de deșeuri cu înălțimea de 1m. Sarcina de 0,0192 MPa este aplicată pe o suprafață de 1 m² a suprafeței superioare a geomembranei. La fel ca și în cazul precedent s-au realizat și simulări pentru înălțimi de 5m, 10m, 15m și 20m ale stratului de deșeu.

4.6.3. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 30°

În continuare este prezentată elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 30° analizate cu elemente de tip shell.

4.6.4. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 45°

În continuare este prezentată elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 45° analizate cu elemente de tip shell.

4.6.5. Analiza neliniară a geomembranei având două cute dispuse la 90°

În continuare este prezentată elaborarea analizei statice neliniare pentru modelul geometric al geomembranei cu 2 cute dispuse la 90° analizate cu elemente de tip shell.

4.6.6. Interpretarea rezultatelor. Discuții. Concluzii

În acest subcapitol sunt prezentate analizele efectuate cu elemente de tip shell a modelelor virtuale 3D ale geomembranei prevăzută cu o singură cută și al geomembranei prevăzută cu 2 cute dispuse la 30°, 45° și 90°. Pe baza acestor modele virtuale au fost dezvoltate un număr de 20 de cazuri particulare distincte, la fel ca și la modelele analizate cu elemente solide.

Valorile obținute pentru cele 20 de analize definite cu elemente de tip shell, pentru diferite solicitări ale presiunii exercitate de stratul de deșeuri sunt prezentate mai jos în Tabelul 4.14.

Tabelul 4.14 – Valorile obținute pentru cele 20 de cazuri analizate cu element de tip shell.

H [m]	PESD [MPa]	Geomembrană 1 CUTĂ – Shell			Geomembrană 2 CUTE – 30° - Shell		
		DT [mm]	DET [mm/mm]	TME [MPa]	DT [mm]	DET [mm/mm]	TME [MPa]
1	0,0192	29,44	0,0249	23,68	25,38	0,0375	29,82
5	0,0961	41,78	0,0450	32,05	35,99	0,0599	39,73
10	0,1923	45,64	0,0672	50,54	41,13	0,9973	57,01
15	0,2885	47,35	0,0775	59,23	45,78	0,1279	60,14
20	0,3846	49,72	0,0963	64,18	47,69	0,1413	66,14
—		Geomembrană 2 CUTE – 45°- Shell			Geomembrană 2 CUTE – 90° - Shell		
1	0,0192	27,14	0,0379	31,11	32,81	0,0384	32,10
5	0,0961	37,03	0,0507	43,19	38,17	0,0406	45,12
10	0,1923	42,15	0,0671	59,02	41,71	0,0852	59,43
15	0,2885	46,22	0,0993	63,79	45,61	0,0929	64,11
20	0,3846	51,31	0,1129	68,23	49,17	0,1213	68,63

<p>H - înălțimea stratului de deșeuri; PESD - presiunea exercitată de stratul de deșeuri; DT - deplasarea totală; DET - deformația specifică echivalentă totală; TME - tensiunea maximă echivalentă von Mises.</p>

Principalele contribuții originale ale studiilor și cercetărilor din acest capitol sunt:

0. Simularea numerică a comportamentului geomembranei prin intermediul celor 4 modele bazate pe entități geometrice de tip suprafață cu cele 5 cazuri diferite de încărcare.
1. A fost realizată o analiză statică neliniară (neliniaritate de contact), pentru fiecare model geometric în parte. Sunt prezentate condițiile de analiză în care au loc simulările, condițiile la limită și caracteristicile de material.
2. Determinarea, pe cale numerică, a tensiunilor maxime echivalente (von Mises), a deformațiilor specifice totale și deplasărilor totale în cadrul geomembranei.
3. Realizarea discretizării geomembranei.
4. Realizarea analizelor neliniare definite cu elemente de tip shell pentru toate cazurile dezvoltate, geomembrana fiind supusă la diferite încărcări pe direcție verticală, ce reprezintă diferite înălțimi pentru stratul de deșeuri (1m, 5m, 10m, 15m, 20m).
5. S-au extras imagini pentru tensiunile maxime echivalente, pentru deformațiile totale și deplasărilor totale ale geomembranei.

În cadrul tezei au fost prezentate comparativ cele două modele numerice. Se constată în urma analizelor valori similare obținute prin cele două metode. Compararea celor două modele numerice relevă faptul că analiza cu elemente de tip „shell” conduce la rezultate precise în condițiile unui timp de rulare de 8-10 ori mai mic decât în cazul analizei similare cu elemente de tip „solid”, fără a fi afectată precizia rezultatelor.

Capitolul 5. Metodologia cercetării experimentale, instalațiile și standurile experimentale folosite

5.1. Algoritmul cercetării experimentale

Având ca obiectiv identificarea comportării mecanice pentru diferite tipuri de materiale, în algoritmul general al unei cercetări experimentale moderne, se remarcă organizate iterativ și plasate simbolic pe o spirală convergentă spre obiectivele cercetării experimentale, existența unor cicluri complete de investigație, [Nic96].

Fiecare ciclu în parte include mai multe etape consecutive și anume:

- cunoașterea aprofundată a obiectivului cercetării;
- conceperea programului de experimentare;
- realizarea efectivă a programului de;
- analiza statică a rezultatelor experimentale obținute.

5.2. Scopul și obiectivele propuse

Cercetările prezentate în teza de față pot fi defalcate pe două direcții și anume: cercetări privind comportarea geomembranei HDPE prin simulare numerică (analiza prin metoda elementului finit) și cercetări experimentale legate de comportarea mecanică a geomembranei HDPE (Figura 5.1).

Cercetările ce urmăresc comportarea mecanică a geomembranei HDPE presupun teste realizate pentru diferite epruvete de geomembrană HDPE pentru încercări la tracțiune.

Metodologia de cercetare, legată de comportarea mecanică a geomembranei HDPE, cuprinde încercări la întindere uniaxială pentru geomembrana HDPE;

În urma acestor încercări au fost determinate:

- forța maximă suportată de geomembrana HDPE;
- alungirea maximă suportată de geomembrana HDPE;
- deformațiile specifice principale maxime și minime (locale) suportate de geomembrana HDPE;

5.3. Instalația folosită la cercetările experimentale

Metodologia de cercetare experimentală urmărește determinarea rezultatelor în urma procesului experimental. Aceste rezultate s-au obținut în urma utilizării instalațiilor experimentale din dotarea Universității din Sibiu “Lucian Blaga”:

- mașina de încercat la tracțiune de tip Instron 5587;
- sistemul optic Aramis pentru măsurarea deformațiilor.

5.3.1 Mașina de încercare uniaxială la tracțiune Instron 5587

Mașinile Instron evaluează proprietățile mecanice ale materialelor și componentelor prin testare la tracțiune, compresiune, încovoiere, oboseală, impact, tracțiune și duritate.

Mașina Instron 5587 este dotată cu programul Bluehill 2, folosit pentru a comanda și a controla mașina dar și pentru a prelucra rezultatele. Bluehill 2 permite realizarea următoarelor aplicații:

- monitorizarea sistemului și vizualizarea rezultatelor în timp real;
- generarea de rapoarte predefinite și editate de utilizator; calibrarea automată a senzorilor;
- posibilitatea determinării curbelor caracteristice convenționale și reale precum și a caracteristicilor de plasticitate.

În experimentul prezentat, mașina de încercare la tracțiune Instron 5587 a fost folosită pentru a se determina comportarea mecanică la tracțiune uniaxială pentru diferite tipuri de epruvete de geomembrană HDPE.

5.3.2 Sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis

S-a folosit sistemul optic de măsurare a deformațiilor în timp real Aramis, deținut de Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu, pentru a determina deformațiile principale și secundare (Figura 5.2). Acest sistem optic de măsurare permite determinarea deformațiilor la încercările de întindere uniaxială.

Pentru testul de întindere uniaxială, sistemul optic de măsurare a fost calibrat și amplasat în așa fel încât zona de măsurare să fie suficient de mare pentru a permite celor două camere ale sistemului să înregistreze în totalitate procesul de încercare la care sunt supuse epruvetele de geomembrană HDPE.

În situația geomembranelor s-a ales pentru determinarea a deformațiilor, depunerea unei grile de culoare albă pe suprafața care se dorește a fi măsurată (Figura 5.3).

Pentru experiment s-au folosit 4 tipuri de epruvete de geomembrană și anume: geomembrană de 2 mm grosime fără concentratoare (Figura 5.3A), geomembrană de 2 mm grosime cu concentratoare (Figura 5.3B), geomembrană de 2,5 mm grosime fără concentratoare (Figura 5.3C), geomembrană de 2,5 mm grosime cu concentratoare (Figura 5.3D).

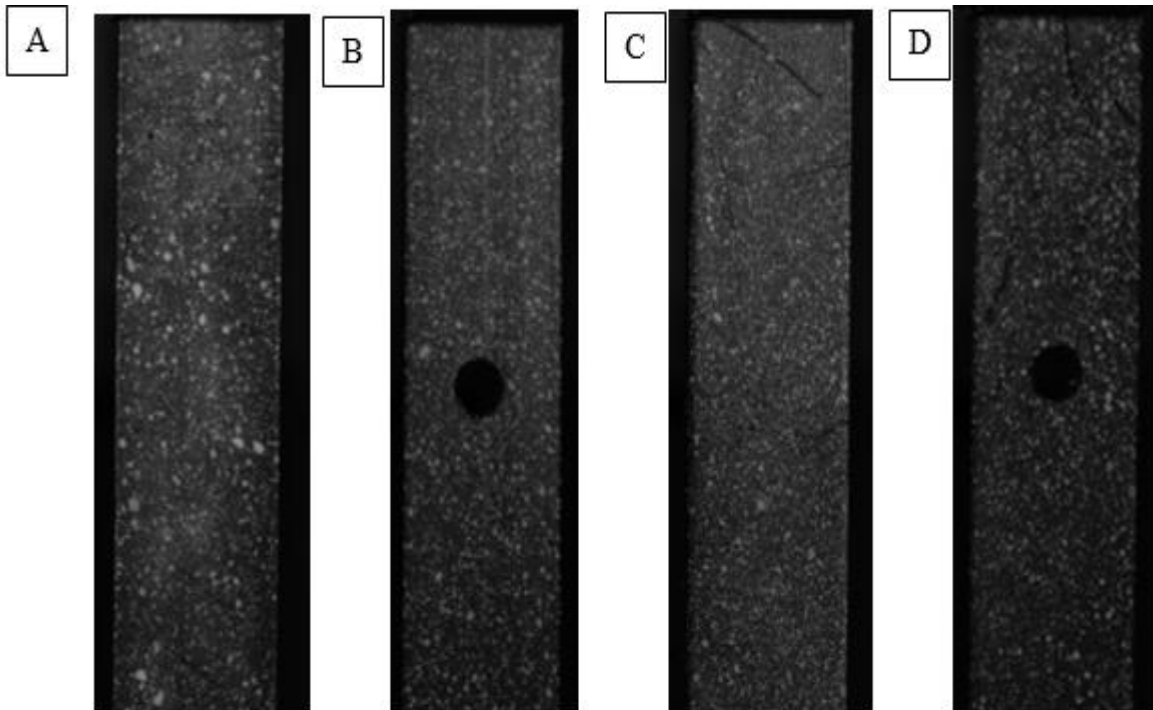


Figura 5.3 - Epruvetele pregătite pentru testare: **A** – geomembrană de 2 mm grosime fără concentratoare; **B** – geomembrană de 2 mm grosime cu concentratoare; **C** - geomembrană de 2,5 mm grosime fără concentratoare; **D** - geomembrană de 2,5 mm grosime cu concentratoare.

5.4. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE

Pentru a realiza determinarea comportării geomembranelor HDPE am apelat la încercarea mecanică la întindere uniaxială. Această metodă este una dintre cele mai vechi metode de testare a comportării materialelor.

Epruveta este fixată la ambele capete și deformată la o viteză constantă (sau nu), pe o mașină de încercat la tracțiune, până la rupere. Forța aplicată este măsurată cu ajutorul unui captor de forță iar deformația cu ajutorul unui extensometru. Pentru derularea cercetărilor am folosit mașina de încercare la tracțiune Instron 5587 și sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis, toate prezentate pe larg în subcapitolul anterior 5.3.

Datele obținute pot fi reprezentate grafic direct în coordonatele forță-deplasare. În anumite situații acestea sunt convenite în coordonate tensiune-deformație specifică. În cazul încercării la

întindere uniaxială a geomembranelor HDPE am optat pentru culegerea datelor sub forma perechilor de puncte forță-deplasare.

Prin cuplarea mașinii de încercare la tracțiune instron 5587 cu sistemul optic de măsurare nu a fost necesară folosirea unui extensometru, sistemul optic Aramis fiind de fapt un extensometru optic de precizie ridicată.

5.4.1. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE fără concentratori de tensiune

Programul experimental pentru determinarea caracteristicilor mecanice pentru geomembrană este bazat pe următoarele:

- s-au prelevat seturi de câte cinci epruvete pentru fiecare tip de geomembrană adică pentru geomembrana fără concentratori de tensiune cu grosime de 2 mm și geomembrana fără concentratori de tensiune cu grosime de 2,5 mm. Forma epruvetelor pentru acest tip de încercare a fost cea standard.

- a fost elaborată metoda de testare în limbajul propriu al mașinii și anume Bluehill 2.

S-a stabilit în această etapă: tipul încercării (tracțiune), datele de material (forma epruvetei, lățimea epruvetei, distanța dintre bancurile mașinii), viteza de încercare, limitele mașinii, rata de precizie a mașinii (10 puncte/secundă), tipul datelor de ieșire care urmează să fie culese:

- viteza de încercare a fost stabilită la 10mm/min;
- lățimea epruvetei a fost de 25 mm, lungimea de 250 mm, grosimea de 2 mm iar distanța liberă de măsurare de 100 mm;

- înaintea realizării experimentelor, epruvetele au fost păstrate în laborator la o temperatură constantă de 25 °C;

- datele de ieșire prelevate au fost așa cum precizam anterior: forța maximă [N] și deplasarea corespunzătoare forței maxime [mm]. Am ales cele două date de ieșire în detrimentul forței de rupere și alungirii la rupere deoarece momentul în care mașina de încercare detectează ruperea este cel în care forța de întindere scade brusc cu 10-20%.

- în afara datelor specificate anterior, se salvează datele primare ale încercării (curba caracteristică în coordonate forță [N] – deplasare [mm]). Aceste date se regăsesc sub forma unor perechi de puncte în coordonatele menționate mai sus în fișierul fiecărei analize în format ASCII.

- în scopul determinării deformațiilor specifice principale maxime și minime, cu ajutorul sistemului optic de măsurare Aramis, epruvetele au fost pregătite în prealabil pentru aceasta. Metoda clasică de determinare a deformațiilor cu ajutorul acestui sistem optic este aceea a măsurării succesive a deplasărilor unor puncte care se găsesc pe suprafața măsurată.

- datorită specificului acestui tip de încercare (grade de deformare foarte mari pe direcția de solicitare) am adoptat o metoda de vopsire a epruvetelor în culoare albă pe suprafața măsurată. Această metodă a condus la rezultate foarte bune în procesul de măsurare.

În figurile 5.4 și 5.5 sunt prezentate graficele convenționale de solicitare în coordonatele forță – deplasare pentru cele 2 cazuri (geomembrană 2 mm și 2,5 mm fără concentratoare) iar tabelul 5.1 prezintă rezultatele numerice ale încercărilor cu prelucrările statistice aferente.

Figurile 5.6 ... 5.9 prezintă rezultatele obținute cu ajutorul sistemului optic de măsurare Aramis de asemenea pentru cele 2 cazuri de geomembrană de 2 mm și 2.5 mm fără concentratoare de tensiune.

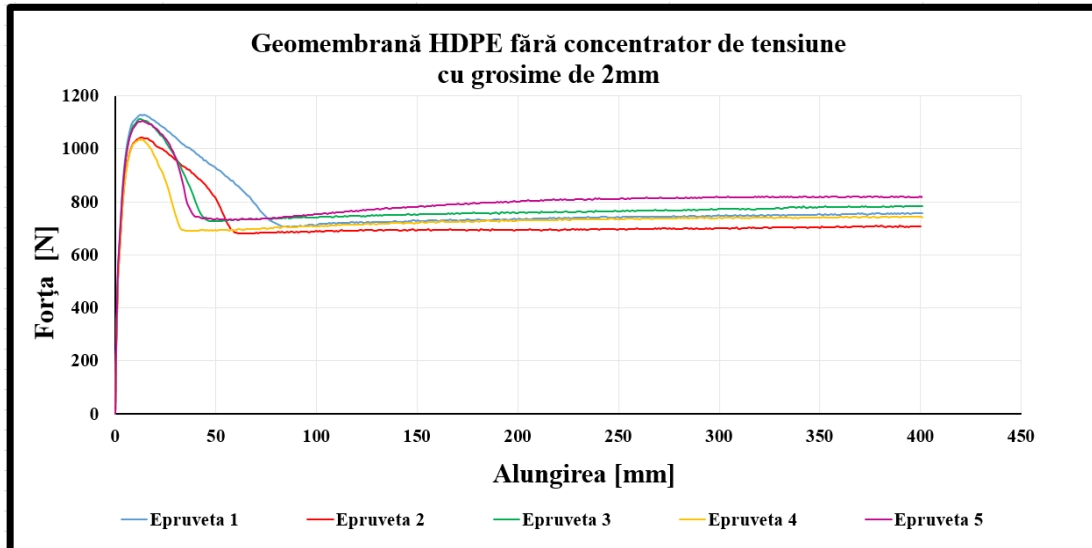


Figura 5.4 - Curba caracteristică forță – deplasare pentru epruvetele de geomembrană HDPE fără concentratoare de tensiune cu grosime de 2 mm.

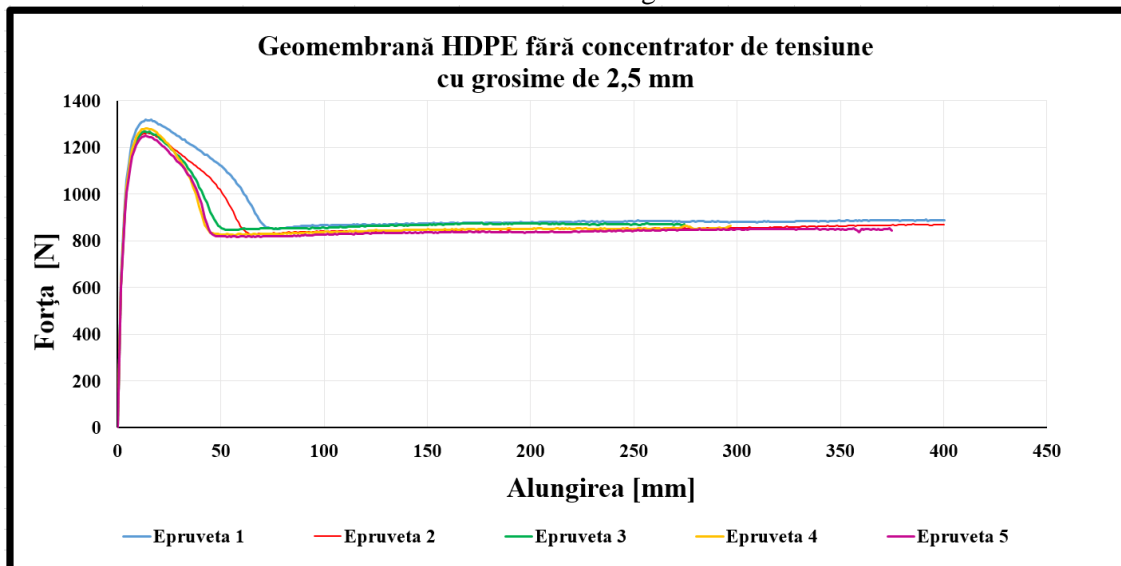


Figura 5.5 - Curba caracteristică forță – deplasare pentru epruvetele de geomembrană HDPE fără concentratoare de tensiune cu grosime de 2,5 mm.

Tabelul 5.1 – Rezultatele centralizate ale încercărilor pentru geomembrana HDPE de 2 mm și 2.5 mm fără concentratoare de tensiune.

Nr. crt.	Tipul Epruvetei	Forța maximă F_{max} [N]	Alungirea la forța maximă ΔL_{max} [mm]
1.	Geomembrană 2 mm fără concentratori de tensiune	1128,17	12,59
2.		1043,32	12,19
3.		1111,86	12,88
4.		1034,42	13,49
5.		1105,56	13,76
Media aritmetică		1084,67	12,98
1.	Geomembrană 2,5 mm fără concentratori de tensiune	1319,31	13,49
2.		1261,65	14,39
3.		1268,38	12,59
4.		1282,73	14,39
5.		1249,73	13,30
Media aritmetică		1276,36	13,63

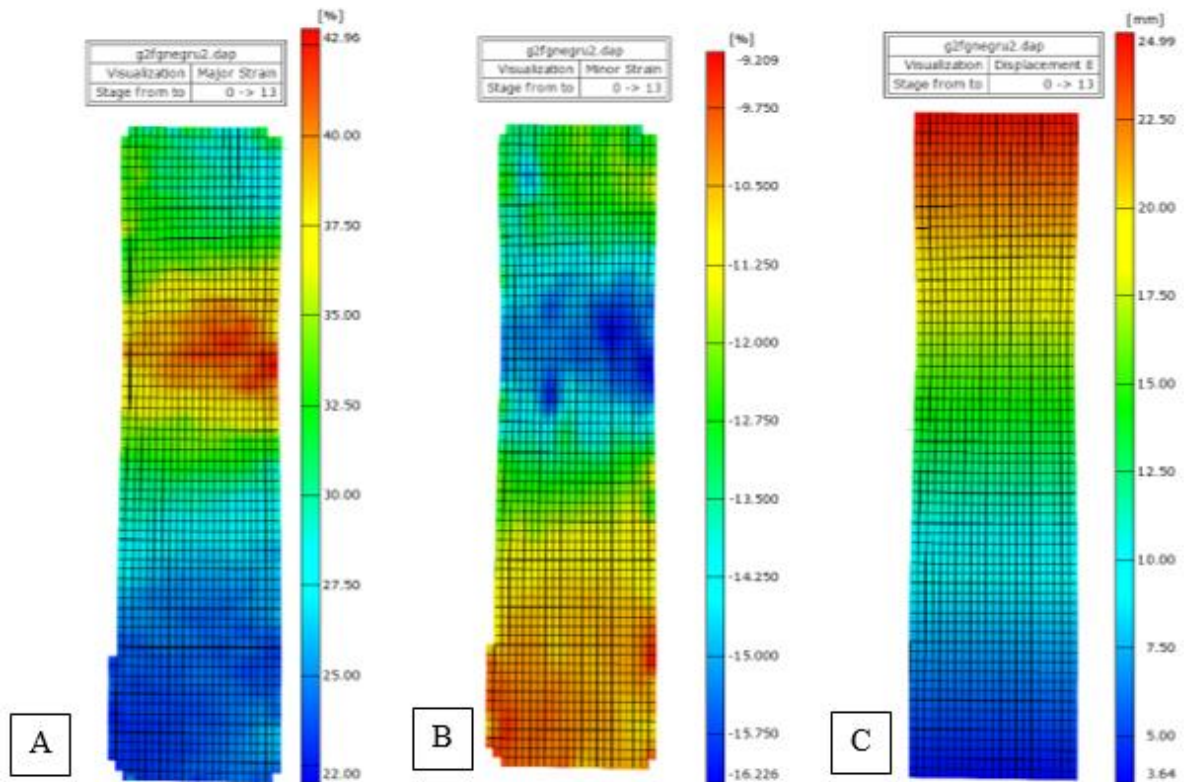


Figura 5.6 – Valorile obținute pentru geomembrana de 2 mm fără concentratoare: **A** – deformație specifică principală maximă; **B** – deformație specifică principală minimă; **C** – deplasarea pe direcție verticală.

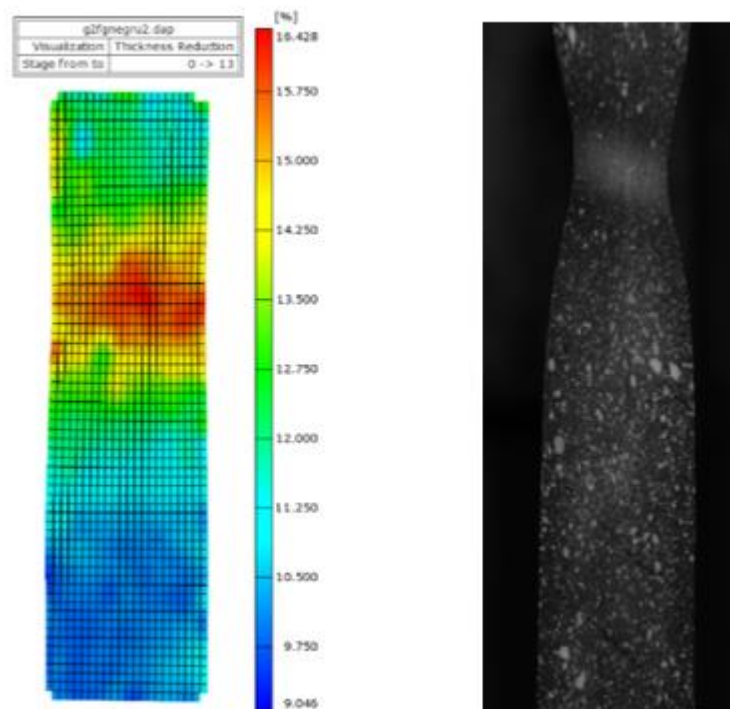


Figura 5.7 – Imagini captate din cadrul testării geomembranei de 2 mm fără concentratoare de tensiune: **A** – reducerea grosimii înainte de rupere; **B** – modelul fizic al geomembranei înainte de rupere.

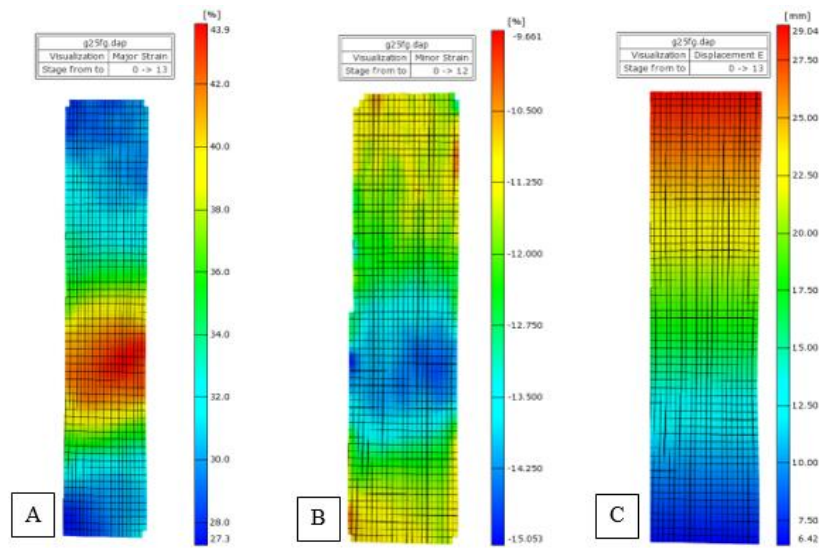


Figura 5.8 – Valorile obținute pentru geomembrana de 2,5 mm fără concentratori: **A** – deformație specifică principală maximă; **B** – deformație specifică principală minimă; **C** – deplasarea pe direcție verticală.

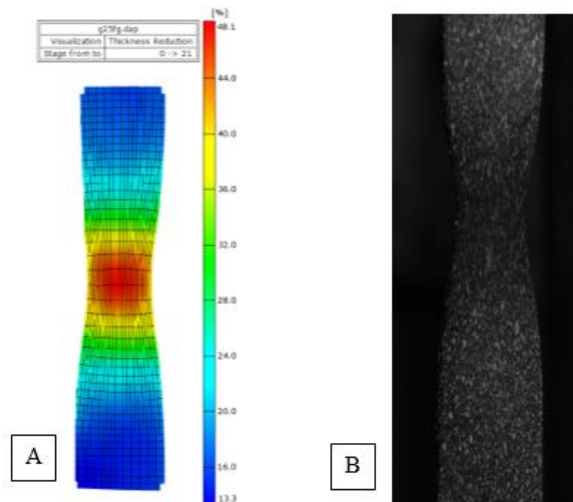


Figura 5.9 – Imagini captate din cadrul testării geomembranei de 2 mm fără concentratori de tensiune: **A** – Reducerea grosimii înainte de rupere; **B** – Modelul fizic al geomembranei la alungire maximă, înainte de rupere.

Concluzii privind încercarea la întindere uniaxială a epruvetelor geomembranei HDPE fără concentratoare de tensiune

În tabelul centralizator 5.1 sunt prezentate valorile forței maxime și alungirii corespunzătoare forței maxime. Pentru fiecare set de experimente și ambele tipuri de epruvete a fost calculată valoarea medie. Așa cum se observă și din tabel, pentru verificarea normalității repartizării datelor a fost aplicat testul Student. Pentru ambele grupe de experimente rezultatele arată că este respectată repartiția normală a datelor.

Din examinarea valorilor rezultate pentru fiecare experiment (tabelul 5.1), se constată că pentru domeniile de variație ale celor doi parametri, caracteristicile considerate variază în limitele:

$$F_{max} = 1084.67 \div 1276.36 \text{ N iar } \Delta L_{max} = 12.98 \div 13.63 \text{ mm.}$$

Examinând graficele din figurile 5.4 și 5.5 se poate observa cu ușurință faptul că pentru ambele cazuri de geomembrană de 2 mm și 2,5 mm, curbele caracteristice de încercare sunt continue și line, fără vârfuri.

În ceea ce privește forța maximă care apare în epruvetă la solicitarea la întinderea uniaxială se poate trage concluzia că valorile mai mari apar în cazul geomembranei de grosime de 2,5 mm, fapt care era de așteptat deoarece, fiind grosimea mai mare, crește rigiditatea și își modifică comportamentul.

Pentru alungirea corespunzătoare forței maxime variația este cu cea din situația forței maxime în ceea ce privește tipul epruvetei adică alungirea epruvetelor de 2,5 mm au o alungire mai mare decât cele de 2 mm.

Analizând succesiunea de figuri 5.6..5.9, care prezintă variația deformațiilor specifice principale maxime și minime, deformațiilor specifice echivalente și a deplasărilor pe direcția de solicitare, se poate forma o idee în ceea ce privește comportarea la întindere uniaxială a acestor tipuri de epruvete.

Din studierea imaginilor care prezintă variația deformațiilor specifice principale maxime și minime (figurile 5.6 și 5.8) se observă faptul că ambele tipuri de deformații specifice sunt repartizate uniform în cazul ambelor geomembrane, diferența fiind de 1÷3% procente între valoarea maximă și minimă.

Alungirile (figura 5.6C și 5.8C) ne prezintă aceeași variație ca cea de pe graficul curbei caracteristice adică valorile mai mari apar în cazul geomembranei de 2,5 mm fără concentratoare de tensiune față de geomembrana de 2 mm fără concentratoare de tensiune.

În toate situațiile se poate observa faptul că de la începutul solicitării și până la finalul acesteia, deformațiile specifice principale maxime și minime au o valoare aproximativ constantă de-a lungul epruvetelor de geomembrană folosite pentru testare. Aceasta conduce la ideea unei structuri aproape omogene.

5.4.2. Încercarea la tracțiune uniaxială a geomembranei HDPE cu concentratoare de tensiune

În urmă montării geomembranelor ca urmare a sarcinilor exercitate pe suprafețele acestora acestea vor putea suferi o serie de perforări de diametre diferite. Din această cauză am considerat util un studiu comparativ între comportarea acestor geomembrane în cazul existenței sau inexistenței unui concentrator de tensiune.

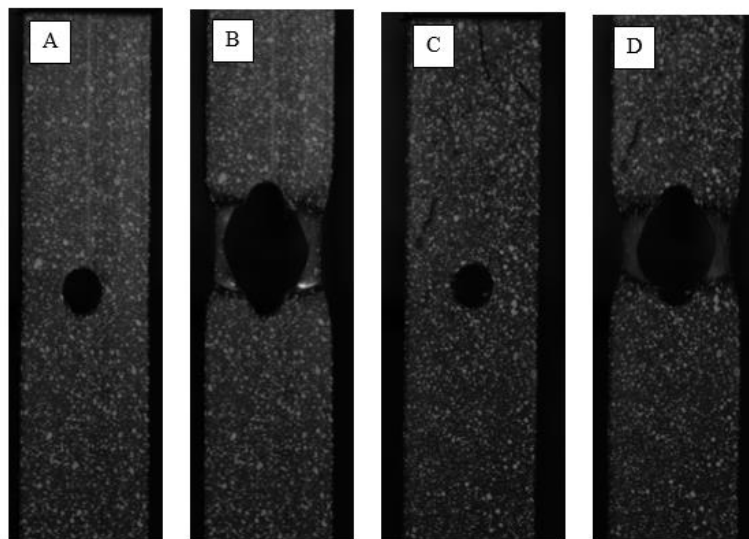


Figura 5.10 – Epruvetele folosite pentru geomembranele de 2 mm și 2,5 mm cu concentratoare de tensiune: **A** – epruvetă de geomembrană de 2 mm cu concentratoare de tensiune; **B** – modul de rupere pentru o epruvetă de geomembrană de 2 mm cu concentratoare de tensiune; **C** - epruvetă de geomembrană de 2,5 mm cu concentratoare de tensiune; **D** – modul de rupere pentru o epruvetă de geomembrană de 2,5mm cu concentratoare de tensiune.

În figura 5.10 sunt prezentate modurile de rupere pentru două epruvete de geomembrană de 2 mm și respectiv de 2,5 mm și care au practic câte un orificiu perforat Φ 10mm, solícitate pe direcție verticală uniaxială. Din analiza celor două figuri se poate observa că în ambele cazuri epruvetele se modifică identic prin întinderea pe care am subliniat-o și în subcapitolul precedent.

Programul experimental pentru determinarea comportării mecanice a geomembranelor HDPE prevede în aceeași pași ca și programul experimental pentru determinarea comportării geomembranelor fără concentratoare de tensiune.

În figurile 5.11 și 5.12 sunt prezentate graficele convenționale de solícitare în coordonatele forță – deplasare pentru cele 2 cazuri (geomembrană 2 mm și 2,5 mm cu concentratori) iar tabelul 5.2 prezintă rezultatele numerice ale încercărilor cu prelucrările statistice aferente.

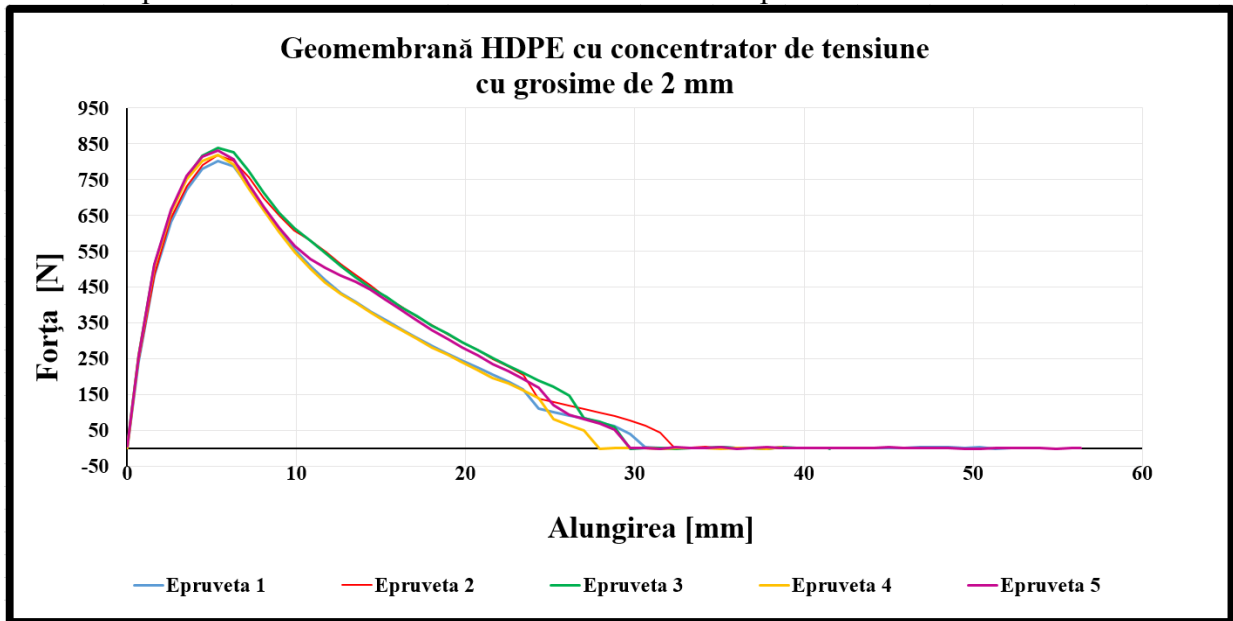


Figura 5.11 - Curba caracteristică forță - deplasare pentru epruvetele de geomembrană HDPE cu concentratoare de tensiune cu grosime de 2 mm.

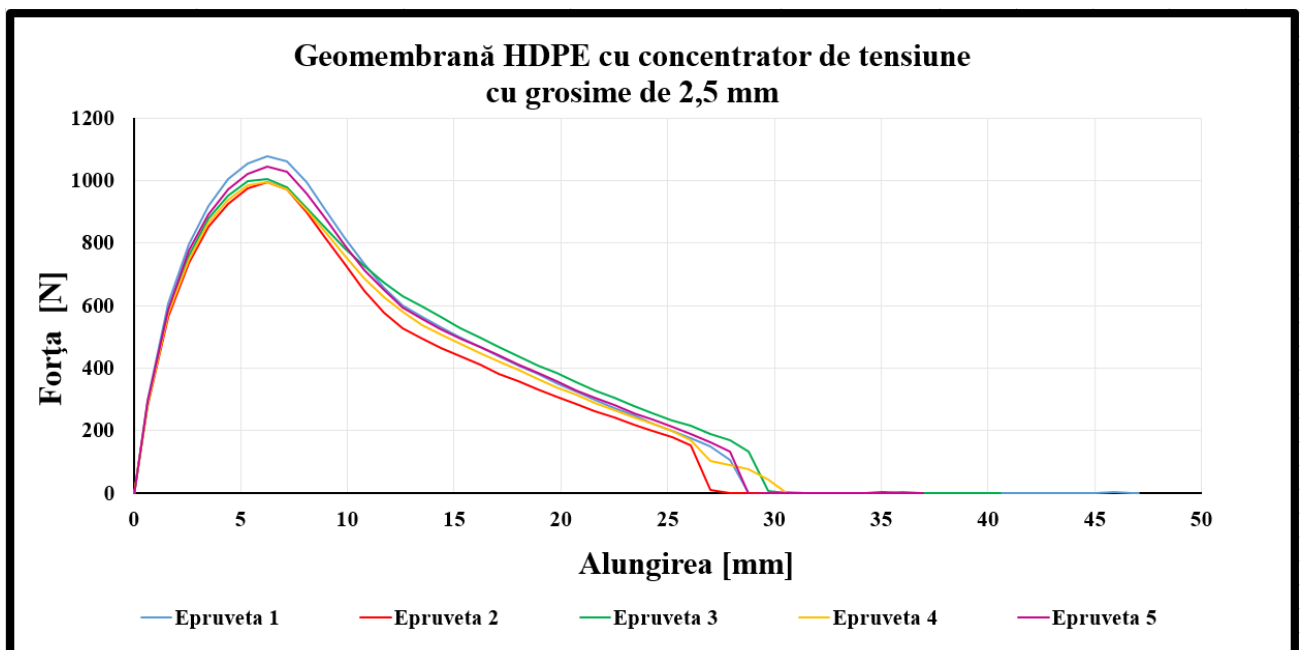


Figura 5.12 - Curba caracteristică forță – deplasare pentru epruvetele de geomembrană HDPE cu concentratoare de tensiune cu grosime de 2,5 mm.

Contribuții privind studiul comportamentului mecanic al geomembranei

Tabelul 5.2 – Rezultatele centralizate ale încercărilor pentru geomembrana HDPE de 2 mm și 2.5 mm cu concentratoare de tensiune.

Nr. crt.	Tipul Epruvetei	Forța maximă F_{max} [N]	Alungirea la forța maximă ΔL_{max} [mm]
1.	Geomembrană 2 mm cu concentratori de tensiune	802,49	5,35
2.		818,32	5,29
3.		838,94	5,32
4.		819,36	5,22
5.		830,99	5,36
Media aritmetică		822,02	5,31
1.	Geomembrană 2,5 mm cu concentratori de tensiune	1076,79	6,27
2.		995,29	6,25
3.		1004,58	6,26
4.		993,58	6,19
5.		1045,09	6,24
Media aritmetică		1023,07	6,24

Figurile 5.13 ... 5.16 prezintă rezultatele obținute cu ajutorul sistemului optic de măsurare Aramis de asemenea pentru cele 2 cazuri de geomembrană de 2 mm și 2.5 mm cu concentratoare de tensiune.

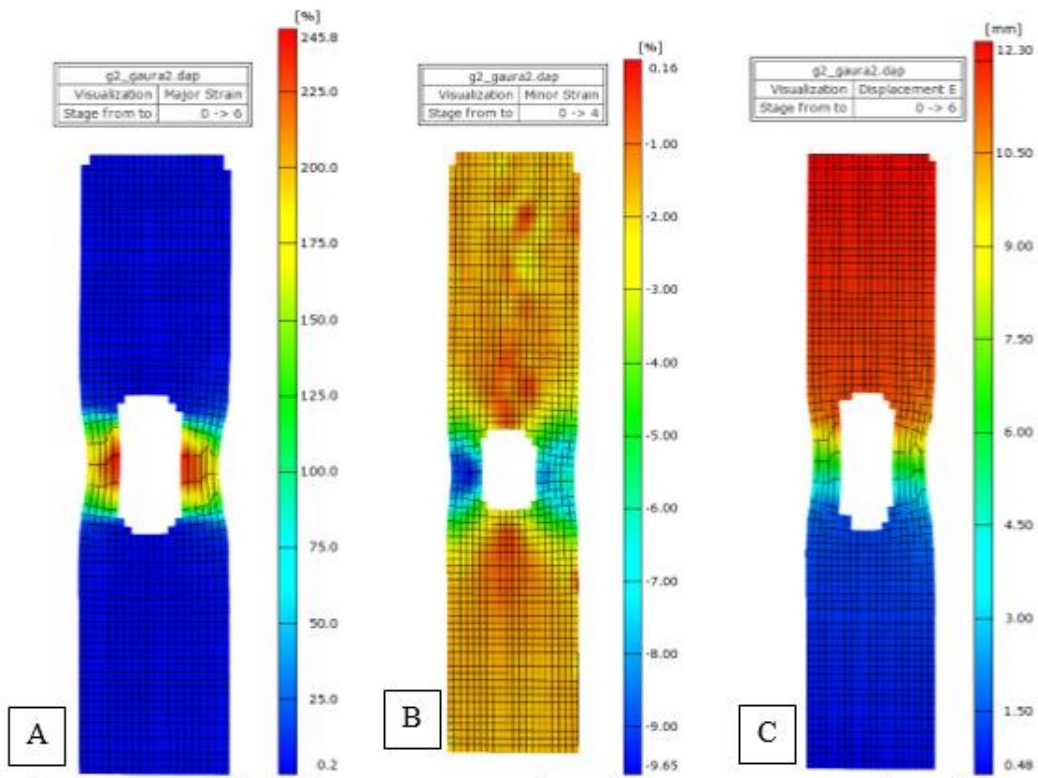


Figura 5.13 – Valorile obținute pentru geomembrana de 2 mm cu concentratoare: **A** – deformație specifică principală maximă; **B** – deformație specifică principală minimă; **C** – deplasarea pe direcție verticală.

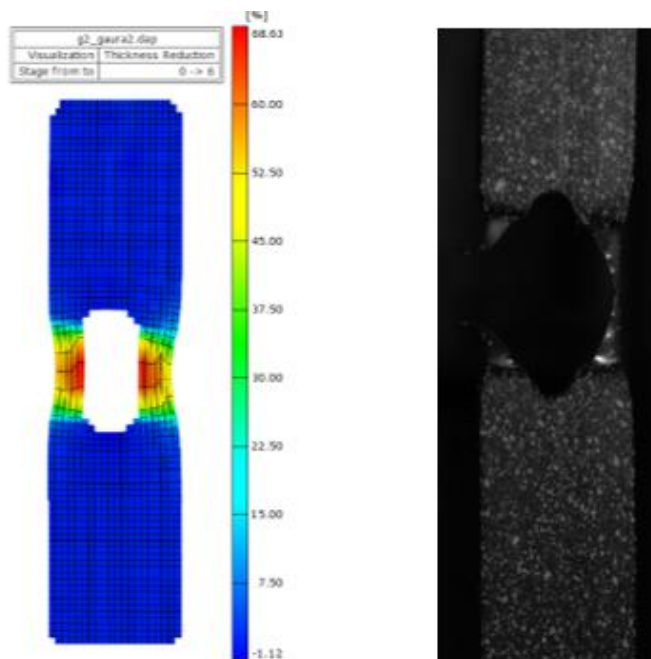


Figura 5.14 – Imagini captate din cadrul testării geomembranei de 2 mm cu concentratoare de tensiune: **A** – reducerea grosimii înainte de rupere; **B** – modelul fizic al geomembranei la alungire maximă, înainte de rupere.

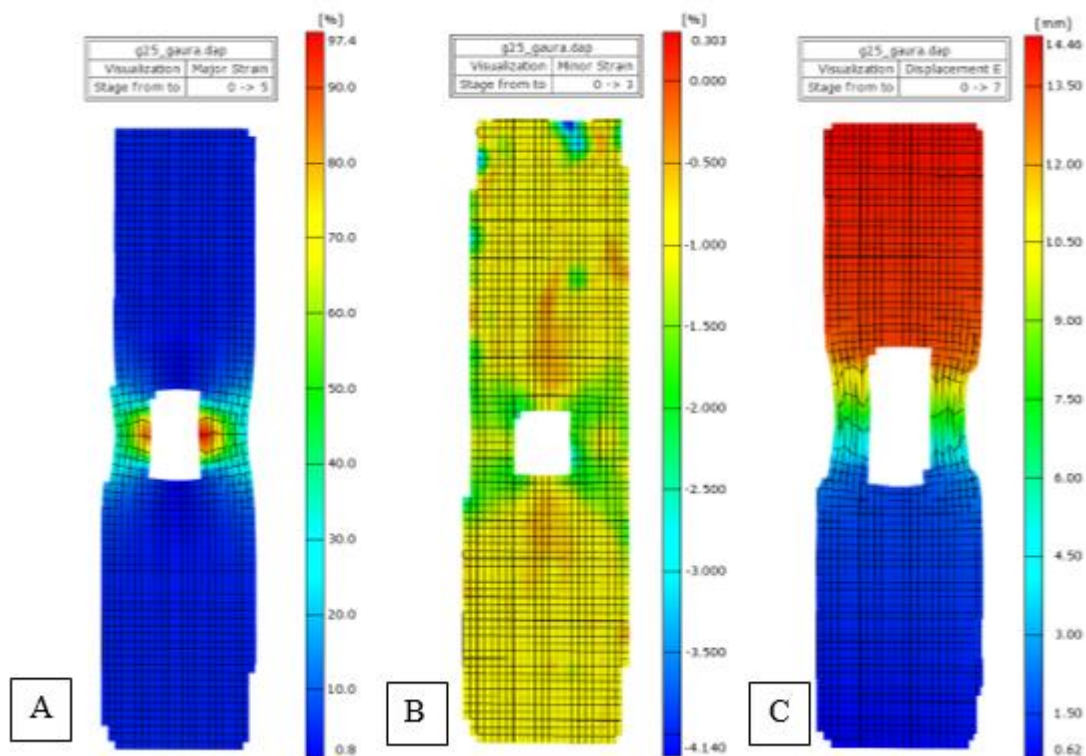


Figura 5.15 – Valorile obținute pentru geomembrana de 2,5 mm cu concentratoare: **A** – deformație specifică principală maximă; **B** – deformație specifică principală minimă; **C** – deplasarea pe direcție verticală.

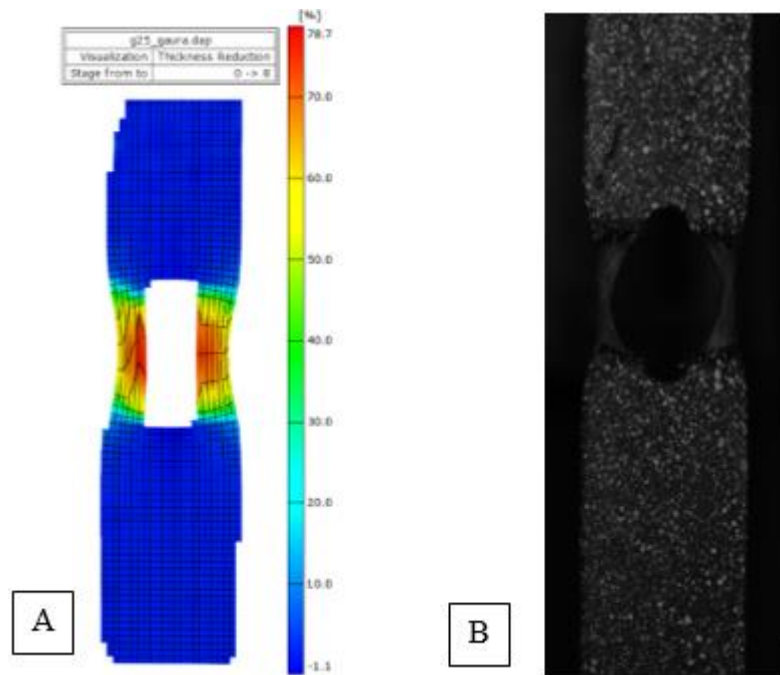


Figura 5.16 – Imagini captate din cadrul testării geomembranei de 2 mm cu concentratoare de tensiune: **A** – reducerea grosimii înainte de rupere; **B** – modelul fizic al geomembranei la alungire maximă, înainte de rupere.

Concluzii privind încercarea la întindere uniaxială a epruvetelor geomembranei HDPE cu concentratoare de tensiune

În tabelul centralizator 5.2 sunt prezentate valorile forței maxime și alungirii corespunzătoare forței maxime pentru solicitarea epruvetelor de geomembrană care au prevăzut o perforare de diametru Φ 10mm. Pentru fiecare set de experimente și ambele tipuri de epruvete a fost calculată și de această dată valoarea medie a rezultatelor.

Analizând rezultatele constatăm exact aceleași tendințe ca și în cazul epruvetelor fără concentratori de tensiune. Este de remarcat importanța acestor concentratoare de tensiune deoarece valoarea maximă a forței scade cu 20% iar alungirea corespunzătoare forței maxime scade de aproximativ 2,5 ori în situația existenței concentratoarelor de tensiune față de valorile obținute în lipsa acestora.

Concluzia are relevanța practică privind eventualele perforări ale geomembranei ce pot fi produse de stratul de sort cu care vine în contact.

Capitolul 6. Concluzii și contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare.

6.1. Obiective, analize, concluzii

În ultimii ani, ca urmare a dezvoltării industriei de materiale ecologice, dar și a acutizării concurenței în acest domeniu, a crescut interesul și necesitatea dezvoltării unor sisteme cu înalt grad de ecologizare a depozitelor de deseuri, în vederea creșterii siguranței și a dezvoltării durabile.

De asemenea, modificările de peisaj și disconfortul vizual, poluarea aerului, poluarea apelor de suprafață, dar și modificările fertilității solurilor și ale compoziției biocenozelor pe terenurile învecinate sunt factori importanți care merită să fie luați în seamă.

În general, se consideră că, dezvoltarea unor sisteme inovative pentru depozitele de deseuri, va duce la îmbunătățirea permanentă a siguranței ecologice.

6.2. Contribuții originale

Caracterul de originalitate al cercetării științifice este conferit de contribuțiile personale aduse de către autorul prezentei lucrări. Acestea se pot remarca pe tot parcursul tezei de doctorat prin intermediul analizelor, sintezelor și experimentelor virtuale realizate.

În **Capitolul 1** este prezentată o *“Introducere”*, unde sunt redată succint elementele principale care intervin în studiul și analiza sistemelor de depozite ecologice. A fost făcută o prezentare generală constructiv funcțională a unui depozit de deseuri, factorii de risc și impact care apar în urma realizării acestuia, importanța geomembranei și rolul acesteia în impermeabilizarea depozitului de deseuri.

Majoritatea cercetărilor se bazează pe studiile realizate în cadrul laboratoarelor sau prin monitorizarea directă a componentelor depozitelor ecologice.

S-au analizat diferite cercetări, lucrări științifice, rezultate experimentale, metode de analiză și monitorizare, în vederea dezvoltării celor mai eficiente tehnici și metode de studiu a comportamentului geomembranelor în contextul complex al unui depozit ecologic.

S-a evidențiat complexitatea unor astfel de sisteme, dar și posibilitățile de studiu și analiză rezultând, astfel, importanța, necesitatea și motivația studierii comportamentului mecanic al geomembranei din cadrul depozitelor ecologice de deseuri;

În **Capitolul 2**, denumit *“Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul mecanic al geomembranelor folosite la impermeabilizarea depozitelor ecologice de deseuri”* s-au evidențiat, într-o primă fază, caracteristicile principale ale geomembranelor și modul de apariție și de dispunere a cutelor.

A fost făcută o cercetare biografică amplă, fiind cuprins un număr mare de lucrări ce au avut ca și tematică comportamentul mecanic al geomembranelor folosite la depozitele ecologice de deseuri. În urma studierii bibliografice s-a făcut o sinteză, în care au fost prezentate analizele efectuate de cercetători și rezultatele obținute de aceștia.

Pe baza analizei a fost relevată nișa de cercetare ce va fi abordată în teza.

În **Capitolul 3**, denumit *„Studii privind influența radiației solare asupra depozitelor ecologice. Modele matematice”* a fost realizat, mai întâi, un studiu privind *Influența radiației solare asupra depozitelor de deseuri*, pornind de la poziția soarelui în raport cu o suprafață plană și mișcarea aparentă a soarelui pe bolta cerească.

De asemenea, au fost scrise ecuațiile pentru constanta solară și densitatea fluxului radiant la nivelul solului. S-a dezvoltat un model matematic care să permită calculul, în orice zi a anului, în orice moment al zilei și în orice locație din țară a radiației a densității energiei solare exprimate în W/m².

Pornind de la acest model matematic și de la harta României reconstituită în AutoCAD, cu ajutorul limbajului de programare Auto LISP, s-a realizat o aplicație care să permită calculul

radiației solare totale la ora și locația stabilită de utilizator. S-au obținut, astfel, următoarele subrutine de calcul:

- subrutină care, pornind de la locația dată prin latitudine și longitudine, determină coordonatele carteziene raportate la sistemul fixat pe hartă;
- o subrutină care preia coordonatele de pe hartă a unei locații și le transformă în coordonate geografice exprimate în grade de latitudine și longitudine;
- o subrutină care calculează radiația totală solară pornind de la latitudinea și longitudinea locației și de la data pentru care se face calculul.

Acest nucleu de calcul a fost completat cu următoarele subrutine:

- secvențe de calcul pentru locații predefinite care calculează radiația totală pentru valori x , z carteziene raportate la sistemul fix amplasat în colțul din stânga-jos al hărții;
- secvențe de calcul pentru determinarea distanțelor între două locații sau între o locație și Polul Nord geografic.

În **Capitolul 4**, având titlul “*Studii pe modele virtuale predictive bazate pe metoda elementelor finite de analiză a comportamentului geomembranelor*” au fost cumulate cunoștințe din diferite domenii (informatică, grafică tehnică, proiectare asistată de calculator, rezistența materialelor).

Într-un prim subcapitol denumit “*Introducere în proiectarea și ingineria asistată de calculator*” s-a evidențiat cum apariția și evoluția sistemelor de calcul a permis automatizarea procesului de concepție și proiectare și cercetare.

De asemenea, s-a subliniat că, din punct de vedere matematic, metoda elementelor finite este o metodă generală de rezolvare aproximativă a ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care descriu fenomene fizice.

S-a aratat că, în principiu, metoda constă în descompunerea domeniului de analiză (liniar, bidimensional sau tridimensional) în porțiuni de formă geometrică simplă, analiza acestora și recompunerea domeniului respectând anumite cerințe matematice sau fizice.

S-a detaliat cum utilizarea proiectării asistate de calculator (CAD) și a programelor de simulare a condus la dezvoltarea unor modele de calcul pentru folii de geomembrane utilizate pentru simulări „*in vitro*”. S-au testat și analizat mai multe sisteme numerice de testare a geomembranelor.

În subcapitolul denumit “*Studii, analize și simulări realizate pe un dispozitiv virtual-experimental*” s-a imaginat și proiectat un dispozitiv pentru testarea geomembranelor. Într-o primă etapă, s-au generat tridimensional, rând pe rând, toate componentele sistemului analizat utilizând un program specializat CAD parametrizat.

De asemenea, în acest software s-au definit constrângerile de mișcare care definesc cuplurile cinematice. Aceste constrângeri au fost transferate automat în mediul de simulare unde s-au adăugat cuplurile cinematice, elemente mecanice virtuale, parametri inițiali, parțial cunoscuți din literatura de specialitate.

Alți parametri necunoscuți s-au determinat prin încercări succesive.

În acest sistem virtual s-a realizat o analiză a transmiterii presiunii exercitate la geomembrană în dispozitivul experimental folosind un program de analiză cu elemente finite.

În acest dispozitiv s-au realizat două experimente virtuale:

- Analiza numerică a comportamentului unei geomembrane cutate;
- Analiza numerică a comportamentului unei geomembrane cutate protejate de o folie de geotextil.

S-au realizat apoi studii, pe modele virtuale predictive bazate pe metoda elementelor finite, de analiză a comportamentului geomembranelor. Pentru aceasta a fost realizată modelarea virtuală a geomembranei cu 1 cută și cu 2 cuto dispuse la 30° , 45° și 90° , analiza neliniară cu elemente de tip „solide” și testarea statică cu elemente de tip “Shell” a modelelor geomembranei cu 1-2 cuto;

În **capitolul 5** sunt prezentate instalațiile experimentale utilizate:

- Mașina de încercare la tracțiune, compresiune și flambaj Instron utilizată pentru evaluarea proprietății mecanice ale materialelor și componentelor prin testare la tracțiune, compresiune, încovoiere, impact și duritate.

- Sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis care determină deformațiile specifice principale maxime și minime la încercările de întindere uniaxială.

Au fost realizate experimente pe cele două instalații pentru epruvete de geomembrana de grosimi diferite (2 mm și 2,5 mm), epruvete simple sau cu concentrator de tensiune. S-au efectuat teste de tracțiune uniaxială.

Pentru realizarea acestor teste s-au făcut adaptări la dispozitivele de prindere a instalațiilor de testare.

S-au efectuat câte 5 experimente pentru fiecare tip de epruvetă (în total 20 experimente).

Din analiza capitolelor din prezenta teză de doctorat se disting, cel puțin, următoarele elemente de originalitate:

- Studiul complet și analiza originală a sistemelor ecologice bazate pe utilizarea geomembranelor;

- Analiza elementelor componente ale depozitelor ecologice care au rol esențial în protejarea mediului înconjurător;

- Abordarea originală a modelării tridimensionale a unor sisteme bazate pe geomembrane, definirea modelelor statice, dinamice și termice;

- Simularea dilatărilor de material și echivalarea originală a contactului dintre diferitele componente ale sistemelor analizate;

- Utilizarea, în mod original, a ecuațiilor matematice din diferite ramuri ale științei pentru obținerea unui model matematic pentru determinarea radiației solare în orice zi a anului, în orice moment al zilei și în orice locație;

- Utilizarea modelului matematic pentru dezvoltarea unui program scris în cod AutoLISP și care rulează din interiorul programului AutoCAD;

- Dezvoltarea unui dispozitiv virtual-experimental pentru testarea geomembranelor în construcție originală.

6.3. Direcții de cercetare

Cercetarea, ca fenomen științific, valorifică în cel mai înalt mod posibil capacitatea umană de a crea, de a construi, de a dezvolta. Dar, întotdeauna, rezolvarea unor probleme, teme de cercetare sau situații critice duce la apariția de noi întrebări, de noi direcții.

Este și cazul prezentei lucrări care lasă cale deschisă cercetării, cel puțin, în următoarele direcții:

Realizarea dispozitivului experimental proiectat prezentat în figura 6.1 în care se vor testa și verifica diferite sisteme bazate pe geomembrane solicitate la presiuni controlate.

De asemenea, pentru a determina dispunerea presiunilor pe cuta geomembranei se vor utiliza utilizarea unui sistem de senzori de forță pentru determinarea presiunilor pe culele geomembranei și monitorizarea apariției cutelor prin utilizarea unei drone cu aripă mobilă.

Această lucrare, elaborată pe parcursul mai multor ani de cercetare, lasă cale deschisă dezvoltării sistemelor experimentale inovative din acest domeniu. De asemenea, se pot elabora și alte metode pentru analiză, stocarea, interpretarea și valorificarea datelor experimentale, pentru îmbunătățirea aparatului matematic care să permită determinarea mai precisă și mai rapidă a comportamentului geomembranelor (apariția cutelor, evoluția acestora, urmărirea fenomenului de dilatare).

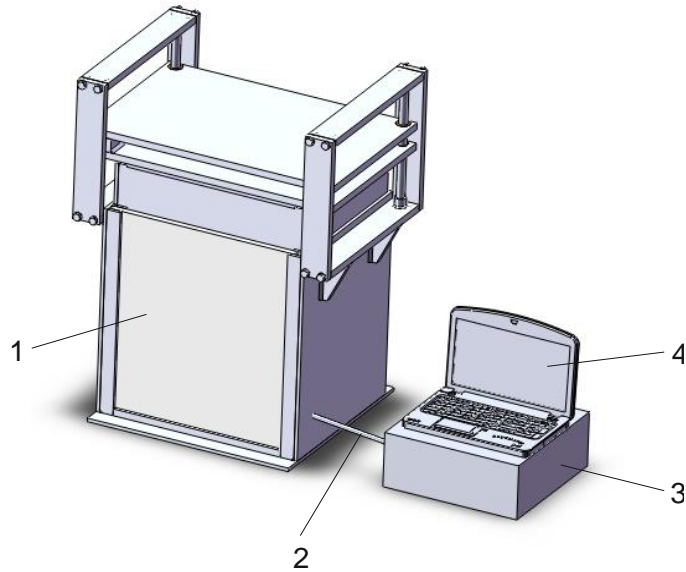


Figura 6.1 - Dispozitivul experimental cu sistemul de achiziție date (1 – dispozitivul experimental supus la o forță controlată; 2 – cabluri; 3 – sursa de energie și sistemul de achiziție de date; 4 – computer).

În viitor, se pot elabora noi algoritmi, noi metode și programe care, utilizate pentru analiză, să permită obținerea unor soluții mult mai precise la problemele care apar în sistemele complexe ale depozitelor de deseuri. Totodată, metodele, conceptele utilizate și introduse prin această lucrare pot fi completate și adaptate în raport cu dezvoltarea sistemelor senzoriale, a sistemelor hardware și software, care să permită studii și analize din ce în ce mai ample și mai precise a sistemelor studiate.

Se consideră că, tema abordată în prezenta teză de doctorat, va stârni interes în lumea științifică românească și că, prin direcțiile abordate, va deschide calea spre dezvoltarea unor noi sisteme inovative pentru depozitele ecologice, pe baza unor structuri senzoriale adecvate.

Bibliografie

- [Abb09] Abbas A.A., Jingsong G., Ping L.Z., Ya P.Y., Al-Rekabi W.S., *Review on landfill leachate treatments*, Journal of Applied Sciences Research, 5, 534-545, 2009.
- [Ahm06] Ahmet H.A., Edward T.M., Melih M.D., *Field Evaluation of a Leachate Collection System Constructed with scop Tires*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006.
- [Ary97] Aryama, T., Mori, Y., and Kaneko, K *Tensile properties and stress relaxation of polypropylene at elevated temperatures*, Polymer Engineering and Science, 1997.
- [Anu13] Anubhav S., Basudhar P.K., *Interface behavior of woven geotextile with rounded and angular particle sand*, Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 25, p.1970-1974, 2013.
- [AST01] ASTM, *Standard test method for determining tensile properties of nonreinforced polyethylene and nonreinforced flexible polypropylene geomembranes*, ASTM D 6693, West Conshohocken, Pa., 392–395, 2001.
- [AST04a] ASTM 2004a, *Standard test method for density and unit weight of soil in place by the sand-cone method (D1556)*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 127–133.
- [AST04d] ASTM, 2004d, *Standard practice for heat fusion joining of polyolefin pipe and fittings (D2657)*, Annual book of ASTM standards, Vol. 08.04, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. pp. 199–206.
- [AST04f] ASTM, 2004f, *Standard specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on outside diameter (F714)*, Annual book of ASTM standards, Vol.08. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. pp. 935–943.
- [AST92] ASTM, *Standard practice for determination of 2% secant modulus for polyethylene geomembranes*, ASTM D 5323, West Conshohocken, Pa., 133–135, 1992.
- [Ayl97] Aylward M., *Designing final landfill covers without an intermediary drainage layer*, in: *Environmental Impact, Aftercare and Remediation of Landfills*, in: Proceedings of the Sixth International Landfill Symposium, edited by Christensen, T.H., Cossu, R., and Stegman, R., vol III, pgs 401-404, 1997.
- [Bar06] Barroso M., Touze -Foltz N., von Maubeuge K., Pierson, *Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of geomembrane, a GCL and a soil Liner*. Geotextiles and Geomembranes 24, 3, 2006.
- [Băr11] Bărbulescu D., *Cercetări privind protejarea cu geomembrană a barajelor din materiale locale împotriva infiltrațiilor*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, București 2011.
- [Beg06] Bergado D.T., Ramana G.V., Sia H.I, Varun, *Evaluation of interface shear strength of composite liner system and stability analysis for a landfill lining system in Thailand*, Geotextiles and Geomebranes, vol 24, p.371-393, 2006.
- [Ben15] Bendouba M., Djebli A., Aid A., Benseddig N., Benqwediab M., *Time- Depende J – Integral Solution for Semi – elliptical Surface Crack in HDPE*, Tech Science Press, 2015.
- [Ben99] Benson C.H., Daniel D.E., Boutwell G.P., *Field performance of compacted clay liners*. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 125 (5), pp390–403, 1999.
- [Blo06] Blond E, Elie G., *Interface Shear – Strength Propierties of Textured Polyethylene Geomembranes*. 59th Canadian Gotechnical Conference, Vancouver, BC, Canada, 2006.
- [Bra] Brachman, R.W.I., Gudina S., *Geomembrane strains from coarse gravel wrinkles in a GM/GCL composite liner*. Geotextiles and Geomembranes 26/2006, 488-497.
- [Bra02] Brachman R.W.I., Gudina S., *A new laboratory apparatus for testing geomembranes under large earth pressures*, Proceedings of the 55 Canadian Geotechnical Conference, pp. 993–1000, 2002.
- [Bra06] Brachman R.W.I., Moore I.D., Rowe R.K., *The performance of a laboratory facility for evaluating the structural response of small diameter buried pipes*, NRC Research Press Web, 2006.

- [Bra08] Brachman R.W.I., Gudina S., *Geomembrane strains from coarse gravel and wrinkles in a GM/GCL composite liner*, *Geotextiles and Geomembranes*, 26,6: 488–497, 2008.
- [Bra08-2] Brachman R.W.I., Gudina S., *Gravel contacts and geomembrane strains for a GM/CCL composite liner*, *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 26, Issue 6, Pages 448–459, 2008.
- [Bra10] Brachman R.W.I., Sabir A., *Geomembrane puncture and strains from stones in an underlying clay layer*, *Geotextiles and Geomembranes* Vol. 28, Issue 4, Pages 335–343, 2010.
- [Bra11] Brachman R., Joshi P., Rowe R., Gudina, S., *Physical Response of Geomembrane Wrinkles near GCL Overlaps*, *Geo-Frontiers* 2011: pp. 1152-1161.
- [Bra99] Brachman R.W.I., *Mechanical performance of landfill leachate collection pipes*, Ph.D.thesis, The University of Western Ontario, London, Ont., 1999.
- [Bou06] Bouazza A., Vangpaisal, *Laboratory investigation of gas leakage rate through a GM/GCL composite liner due to a circular defect in the geomembrane*. *Geotextiles and Geomembranes* 24, 2, p.110-115, 2006.
- [Bri11] Briançon L., Girard H., Gourc J.P., *A new procedure for measuring geosynthetic friction with an inclined plane*. *Geotextiles and Geomembranes*, vol 29, p.472-482, 2011.
- [Bru11] Bruker – Nano Inc *Guide to Surface Texture Parameters as Used in the Vision 64 Program*. 2011.
- [Cad93] Cadwallader M., Cranston M., Peggs I.D., *White-Surfaced HDPE Geomembranes: Assessing Their Significance to Liner Design and Installation*, *Geosynthetics '93*, Vancouver, BC, Canada, 1993.
- [Cha08] Chappel M.J., Take W.A., Brachman R.W.I., Rowe R.K., *Quantifying geomembrane wrinkles using aerial photography and digital image processing*, 2008.
- [Che08] Cherubini F., Bargigli S., Ulgiati S., *Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy*, *Waste Management* 28, 2552–2564, 2008.
- [Car05] Cartaud F., Goblet P., Touze F.N., *Numerical simulation of the flow in the interface of a composite bottom liner*. *Geotextiles and Geomembranes*, vol.23, 6, p.299-309, 2005.
- [Car05-2] Cartaud F., Touze F.N., Duval Y., *Experimental investigation of the influence of a geotextile beneath the geomembrane in a composite liner on the leakage through a hole in the geomembrane*. *Geotextiles and Geomembranes* vol.23, 2, p.117-143, 2005.
- [Cha05] Chai J.C., Miura N., Hayashi, *Large-scale tests for leachate flow through composite liners*. *Geosynthetics International*, vol 12, p.13-144, 2005.
- [Cha07] Chappel M.j.B., Take R.W.I., Rowe R.K., *Development of a low-altitude aerial photogrammetry technique to quantify geomembrane wrinkles*, *Proceedings of Geosynthetics*, Washington, DC., USA, P.293-300, 2007.
- [Che12] Chevrier B., Cazaux D., Didier G., *Influence of subgrade, temperature and confining pressure on GCL hydration*, *Geotextiles and Geomembranes*, vol 33, p.1-6, 2012.
- [COF07] CoFoTerm - *Complementaritatea surselor fotovoltaice și a captatoarelor termice în arhitectura clădirilor și asigurarea utilității de energie electrică și climatizare* - CEEX 605/2005-2007.
- [Dan80] Danescu A., Bucurenciu S., Petrescu S., *Utilizarea energiei solare*, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1980.
- [Dan93] Daniel D.E., Koerner M., *Geosynthetic clay liners. Quality assurance and quality control for waste containment facilities*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati Ohio, 1993.
- [Dic06] Dickinson S., Brachman R.W.I., *Deformations of a geosynthetic clay liner beneath a geomembrane wrinkle and coarse gravel*, *Geotextiles and Geomembranes*. 24,5: 285-298, 2006.
- [Dic08] Dickinson S.J.E., *Physical Response of Composite Geomembrane / Geosynthetic Clay Liners under Simulated Landfill Conditions*, PhD Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, September, 2008.
- [Dic08-2] Dickinson S., Brachman R.W.I., *Assessment of alternative protection layers for a geomembrane – geosynthetic clay liner (GM–GCL) composite liner*, *Can. Geotech J.*, 45, 1594-1610, 2008.
- [Dic10] Dickinson S., Brachman R.W.I., *Local deformation of a geosynthetic clay liner from an isolated gravel contact*, 57th canadian geotechnical, 2010.
- [Dun70] Duncan J.M., Chan C.Y., *Nonlinear analysis of stress and strain in soils*. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol 96, p.1629-1653, 1970.
- [Duf95] Duffy D.P., *Using tire chips as a leachate drainage layer*, *Waste Age*, 1995.

- [Dut97] Dutta N.K., Edward G.H., *Generic relaxation spectra of solid polymers. I. Development of spectral distribution model and its application to stress relaxation of polypropylene*, Journal of Applied Polymer Science, 66, pp1101–1115, 1997.
- [Eva] Evans P., *Use of tire shread in landfill Construction*, Proc. 3rd Annual Symp on Environmentally Friendly Techonologies in Geotechnical Engineering, Geotechnical Society of Edmonton, Edmonton, Alta, Canada.
- [Eva97] Evans P.A., *Use of tire shred in landfill construction*, Proceedings from The Geotechnical Society of Edmonton Third Annual Symposium, Environmentally Friendly Technologies, 1997.
- [Ehr12] Ehrenber, H., Recker, C., *The influence of Geosyntheics Color o the UV resistance performance under natural and lab testing conditions*, 5th European Geosynthetics Congress, Valecia, Proceedings Topic. Mining & Environmental Applications, 2012.
- [Esm14] Esmaili D., Hatami K., Miller G.A., *Influence of matrix suction on geotextile reinforcement – marginal soil interface strength*. Geotextiles and Geomembranes, vol 42, nr.2, p.139-153, 2014.
- [Fle04] Fleming I.R., Rowe, *Laboratory studies of clogging of landfill leachate collection and drainage systems*, Canadian Geotechnical Journal 41, p.134-153, 2004.
- [Fox11] Fox P.J., Ross, J.D., Sura, J.M., Thiel R.S., *Geomembrane damage due to static and cyclic shearing over compacted gravelly sand*, Geosyntetics Internatioanl 18,5, p.272-279, 2011.
- [Fox06] Fox P.J., Nye C.J., Morrison T.C., Hunter J.G., Olsta J.T., *Large dynamic direct shear machine for geosynthetic clay liners*, Geotechnical Testing Journal 29, 5, p.392-400, 2006.
- [Fow08] Fowmes G.J., Dixon N., Jones D.R.V., *Validation of a numerical modelling technique for multilayered geosynthetic landfill lining systems*, Geotextiles and Geomembranes 26, p.109-121, 2008.
- [Fri09] Fricke K., Kolsch F., *Waste management in low inncome emerge countries*, The Role of Ecological Chemistry 243 in Pollution Research and Sustainable Development, 2009.
- [Geo10] *Geomembrane Sealing Systems for Dams – Design Principles and Return of Experience*, The International Commission on Large Dams (ICOLD), Paris, Franta, 2010.
- [Gir92] Giroud. J.P., Morel, *Analysis of Geomembrane wrinkles*. Geotextiles and Geomembranes 11, p.255-276, 1992.
- [Gir95] Giroud J.P., Badu-Tweneboah K., Soderman K.L., *Theoretical Analysis of Geomembrane Puncture*, Geosynthetics International, Vol. 2, No. 6, pp.1019-1048, 1995.
- [Gon04] Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L., *Digital Image Processing Using Matlab*, Pearson Prentince Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.
- [Gud06] Gudina S., Brachman R.W.I., *Physical response of geomembrane wrinkles overlying compacted clay*, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 132, No. 10, 1346–1353, 2006.
- [Gud07] Gudina S., *Short-term physical response of HDPE Geomembranes from gravel indentations and wrinkles*, PhD thesis, Queen’s University, Kingston, Canada, 2007.
- [Gud11] Gudina S., Brachman R.W.I., *Geotextiles and Geomembranes*, Geotextiles and Geomembranes 29, 181-189, 2011.
- [Hai14] Haimin W., Yiming S., Linjun D., Zhaoming T., *Mechanical Behavior of Interface between Composite Geomembrane and Permeable Cushion Material*, Hindawi Publishing Corporation, 2014.
- [Hal] Hall D.H., Drury D., Smith J.W.N., Potter H.A.B., Gronoe J.G., *Predicting the groundwater impact of modern landfills: major developments of the approach to landfill risk assessment in the UK*, Proc. 8th Int. Landfill Symp., Sardinia, Cagliari, Italy.
- [Ham14] Hamid S., Mohammad T.R., *Geosynthetic day liners shrinkage under simulated daily thermal cycles*, Waste Management & Research, 2014.
- [Han15] Hanson J.L., Chrysovergis T.S., Yesiller N., Mahnheim, *Temperature and moisture effects on GCL and textured geomembrane interface shear strength*, Geosynthetics International, 2015.
- [Heb05] Hebel G.L., Frost J.D., Myers A.T., *Quantifying hook and loop interaction in textured geomembrane-geotextile systems*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 23, p.77-105, 2005.
- [Hee94] Heerten G., *Geotextile and / or GCL protection systems for geomembranes*, Geosynthetic Liner Systems: Innovations, Concerns and Designs, Koerner, R.M., and Wilson – Fahmy, R.F., eds.IFAI, 1994, p.155-167
- [Ism] Islam M.Z., *Long-term performance of HDPE geomembranes as landfill liners*. Ph. D. thesis, Queens Univ., Kingston, Ont.

- [Jon05] Jones D.R.V., Dixon N., *Landfill lining stability and integrity: the role of waste settlement*, Geotextiles and Geomembranes 23, p.27-53, 2005.
- [Jon98] Jones R., Dixon N., *Shear strength properties of geomembrane / geotextile interfaces*, Geotextiles and Geomembranes vol 16, p.45-77, 1998.
- [Jon] Jones, D.R.V., Shercliff, D.A.Dixon *Difficulties associated with the specification of protection geotextiles using only unit weight*. Proceedings of the Second European Geosynthetics Conference, Bologna, Italy, 2000, p.551-555
- [Kir07] Kirkeby J.T., Birgisdottir H., Bhandar G. S., Hauschild M., Christensen T.H., *Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE*, Waste Management 27 (2007) 961–970.
- [Kje02] Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T.H., *Present and long-term composition of MSW Landfill leachate: A review*, Clinical Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4):297-336 (2002).
- [Koe06] Koerner G.R., Koerner R.M., *Long term temperature monitoring of geomembranes at dry and wet landfills*, Geotextiles and Geomembranes, 24, No. 1, 72–77, 2006.
- [Kwa02] Kwang Y.L., Chin G. C., Taik J.H., Seong H.Y., *The Stress-Strain Behavior of Geotextiles under Puncture Loads in a Liner System*, Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, May 26–31, 2002.
- [Lee00] Lee K.M., Manjunath V.R., *Soil-geotextile interdice friction by direct shear tests*, Canadian Geotechnical Journal, vol.37, p.238-252, 2000.
- [Kat14] Katarzyna A.Z., Neil D., Gary F., Russel D., Jones V., Zhang B., *Landfill side slope lining system performance: A comparison of field measurements and numerical modelling analyses*. Geotextiles and Geomembranes, p.224-2354, 2014.
- [Koe95] Koerner G.R., Koerner R.M., *Temperature behavior of field deployed HDPE geomembranes*. Proceedings of Geosynthetics, Nashville, vol.3, p.921-937, 1995.
- [Koe11] Koerner R.M, Hsuan Y.G., *Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and exposed Conditions, Gri White Paper*. Geosynthetic Institute, Folsom, Pa, USA, 2011.
- [Koe05] Koerner R.M., *Designing with Geosynthetics*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2005.
- [Koe96] Koerner R.M., Wilson–Fahmy R.F., Narejo D., *Puncture protection of geomembranes. Part III Examples*, Geosynthetics International, 3, 5, p.655-675, 1996.
- [Li06] Li M.H., Gilbert R.B., *Technical Note: Mechanism of post-peak strength reduction for textured geomembrane nonwoven geotextile interfaces*. Geosynthetics International, vol. 13, p.206-209 2006.
- [Lop98] Lopes M.E., Almeida M.F., Monteiro A.V., Russo M.T., *Durability of geosynthetics under agents presents in landfills*, Proc. 3rd Int. Congress on Environmental Geotechnics, S.E. Pinto, vol I, Rotterdam, The Netherlands, p.247-252, 1998.
- [Lum09] Luminosu I., *Lucrări de laborator la cursul de Sisteme Termosolare*, Masterul „Energii regenerabile – energia solară”, Departamentul independent “Bazele fizice ale ingineriei”, Facultatea de Electrotehnica și Electroenergetică, Universitatea Politehnică Timișoara, 2009.
- [Man] Manheim D.C., Hanson J.L., Yesiller, *Investigation of Post – Shear Surface Texture Characteristics of Geomembranes*. USA, National Science Foundation.
- [Mer96] Merry S.M., Bray J.D., *Geomembrane Response in the Wide Strip Tension Test*, Geosynthetics International, Vol. 3, No. 4, pp. 517-536, 1996.
- [Mul] Müller W., *HDPE Geomembranes in Geotechnics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg MoE *Landfill standards: A guideline on the regulatory and approval requirements for the new or expanding landfill sites*. Ontario Ministry of Environment, Ontario Regulation 232.98, Queen’s Printer for Ontario, Toronto;
- [Mor14] Moraci N., Cardile G., Gioffre D., Mandaglio M.c., Calvarano L.S., *Carbone Soil geosynthetic internation: design parameters from experimental and theoretical analysis*, Transportation Infrastructure Geotechnology, p.165-227, 2014.
- [Mul03] Müller W., Jacob I., *Oxidative resistance of high density polyethylene geomembranes*, Polym. Degrad. Stab. 79, p.161-172, 2003.
- [Mul00] Müller W., Jakob I., *Comparison of Oxidation Stability of various Geosynthetics*, Conference contribution to EuroGeo, 2000.
- [Nar96] Narejo D., Koerner R., Wilson–Fahmy R., *Puncture protection of geomembranes, Part II Experimental*, Geosynthetics International, 3, 5, p.605-627, 1996.

- [Nat] National Research Council – NRC *Assessment of the Performance of Engineered Waste Containment Barriers*. The National Academies Press, Washington D.C.
- [Niv07] Nivala A.M., Brewster S., Sarjakoski L.T., *Usability problems of web map sites*, Proceedings of the International Cartographic Conference, Moscow, 2007.
- [Pal09] Palmeira E.M., *Soil-geosynthetic interaction: Modeling and analysis*, Geotextiles and Geomembranes vol. 27, p.368-390, 2009.
- [Peg89] Peggs I.D., Carlson D.S., *Stress Cracking of Polyethylene Geomembranes: Field Experience, Durability and Aging of Geosynthetics*, Ed. R.M. Koerner, Elsevier Applied Science, London, p.195-271, 1989.
- [Peg90] Peggs I.D., Carlson D.S., Peggs S.J., *Understanding and Preventing 'Shattering' Failures of Polyethylene Geomembranes*, Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Balkema, Rotterdam, vol. 2, p. 549-554, 1990.
- [Peg06] Peggs I.D., *Investigation of Stress Cracking in a Reinforced Polypropylene Floating Cover*, 8ICG, Yokohama, Japan, Millpress Science Publishers, Rotterdam, Netherlands, p.1567-1570, 2006.
- [Pel94] Peltie T., Pierson P., Gourc J.P., *Thermal analysis of geomembrane exposed to solar radiation*, Geosynthetic Institute 1, p. 21-44, 1994.
- [Pel94] Pelte T, Pierson P., Gorc J.P., *Thermal analysis of geomembranes under the effect of solar radiation*, Geosynthetics International, vol. 1, p.21-44, 1994.
- [Pop08] Popa D., Gherghina G., *Infografica*, Ed. Sitech, ISBN 978-606-530-028-6, pp. 308, Craiova 2008.
- [Pop08-2] Popa D., Sass L., *Grafica asistata de calculator*, Ed. Sitech, pp. 269, ISBN 978-973-746-800-0, Craiova 2008.
- [Rav15] Raviteja K.V.N.S., Munwar B., Basha, *Variability Associated with interface friction between geomembrane and soil*. 50th Indian Geotechnical Conference, Pune, India, 2015.
- [Ray11] Rayhani M.T., Row R.K., Brachman R.W.I, *Factors affecting GCL hydration under isothermal conditions*. Geotextiles and Geomembranes vol 29, p. 525-533, 2011.
- [Roe10] Kerry R.R., Asce F., Islam M.Z., Hsuan Y.G., *Effects of Tickness on the Aging of HDPE Geomembrane*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, pag.299-307, 2010.
- [Row04] Rowe R.K., Quigley R.M., Brachman R.W.I., Booker J.R., *Barrier Systems for Waste Disposal Facilities*, 2nd ed. Spon Press. 587pp., 2004.
- [Row09] Rowe R.K., Rimal S., Sangam H.P., *Aging of HDPE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures*, Geotextiles and Geomembranes, 27, No. 2, 131–151, 2009.
- [See00] Seeger S., Böhm H., Söhring G., Müller W., *Long term testing of geomembranes and geotextiles under shear stress*, Federal Institute of Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany, 2000.
- [She] Shelley, T.L., and Daniel D.E. *Effect of gravel on hydraulic conductivity of compacted soil liners*. Journal of Geotechnical Engineering, p. 54-98, 1993.
- [Sta05] *Standard test method for determining tensile properties of nonreinforced polyethylene and nonreinforced flexible polypropylene geomembranes (D6693)* American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 2005.
- [Sta00] Stancescu C., *Autolisp manual de programare*, Ed. Fast 2000, Bucuresti 1996.
- [Ste] Ștefan Florin Bălan, Florin Rădulescu *Parametrii fizici și elastici ai unor roci sedimentare din România*. Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizica Pământului București – Măgurele.
- [See] Seeger S., Böhm H., Söhring G., Müller W., *Long term testing of geomembranes and geotextiles under shear stress* Federal Institute of Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany.
- [San02] Sangam H.P., Rowe R.K., *Effects of exposure conditions on the depletion of antioxidants from high – density polyethylene (HDPE) geomembranes*, Can. Geotechnical Institute, p.1221-1230, 2002.
- [Sch] Schmidt R.K., Young C., Helwitt J., *Long term field performance of geomembranes – 15 years experience*, Proc., Int. Conf. on Geomembranes, vol II, IFAI, Denver.
- [Soo98] Soong T.Y., Koerner R.M., *Laboratory study of high density polyethylene geomembrane waves*, Proceeding of the 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta, GA, USA, p.301-306, 1998.

- [Sta97] Stark T.D., *GCL field thickness may be less than assumed*, Geotechnical Fabric Report 15, 6, p.6-8, 1997.
- [Sta04] Stark T.D., Choi H., Akhtarshad R., *Occurrence and effect of bentonite migration in geosynthetic clay liners*, Geosynthetics International 11, 4, 296-310, 2004.
- [Sur95] Surmann R., Pierson P., Cottour P., *Geomembrane liner performance and long term durability*, Proc. 4th Int. Landfill Symp., IFAI, Sardinia, S. Margherit, Cagliari, Italy, p.405-414, 1995.
- [Tak07] Take W.A., Chappel M.J., Brachman R.W.I., Rowe R.K., *Quantifying geomembrane wrinkles using aerial photography and digital image processing*, International Geosynthetics, 14, No. 4, 219-227, 2007.
- [Tak12] Take W.A., Watson, Brachman E., Rowe R.W.I., *Thermal expansion and contraction of geomembrane liners subjected to solar exposure and backfilling*, J. Geotechnical Geoenvironmental Eng., p. 1387-1397, 2012.
- [Tan95] Tan S.A., Muhammad N., Karunaratne G.P., *Adhesion at jute geotextile /clay slurry interface*, Soils and Foundations, vol. 35, NR.3, 1995, P. 15-22
- [Tim10] Timofte A.M., *Studii privind managementul deșeurilor solide urbane și tratarea unor efluenți rezultați la depozitarea acestora*, Teză de Doctorat, 2010.
- [Tog00] Tognon A.R., Rowe R.K., Moore I.D., *Geomembrane strain observed in large-scale testing of protection layers*, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 126-12, 1194-1208, 2000.
- [Tog99] Tognon A.R.M., Rowe R.K., Brachman R.W.I., *Evaluation of sidewall friction for a buried pipe testing facility*, Geotextiles and Geomembranes, 17: 193-212, 1999.
- [Thi05] Thiel R., Richardson G.N., *Concern for GCL shrinkage when installed on slopes*, RI-18 GeoFrontiers, Folsom, PA, USA, 2005.
- [Thi06] Thiel R., Giroud J.P., Erickson R., *Laboratory measurement of GCL shrinkage under cyclic changes in temperature and hydration conditions*, Geosynthetics, proceedings of 8th international conference on geosynthetics, Yokohama, Japonia, p.157-162, 2006.
- [Tou06] Touez-Foltz, Duquennoi N.C., Gaget, E., *Hydraulic and mechanical behavior of GLCs in contact with leachate as part of composite liner*, Geotextiles and Geomembranes, vol 24, p.188-197, 2006.
- [Tou00] Toueze-Foltz N., Schmittbuhl J., Memier M., *Geometric and spatial parameters of geomembrane wrinkles on large scale model tests*. Proceedings of Geosynthetics, Portland, USA, p.715-728, 2000.
- [Vas16-1] Vasiluță P., Cofaru N., *The importance of the geomembrane in ecological landfill*, International Conference of Innovative Technologies, IN-TECH 2016, Prague, Czech Republic, în curs de publicare.
- [Vas16-2] Vasiluță P., Cofaru N., *The statistic testing with shell element to geomembranes with 1-2 wrinkles*, International Conference of Innovative Technologies, IN-TECH 2016, Prague, Czech Republic, în curs de publicare.
- [Vas16-3] Vasiluță P., Cofaru N., *The uniaxial tensile testing for a HDPE Geomembrane without concentrators*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, AJME, ISSN:1583-7904, nr.02/2016, Cluj.
- [Vas16-4] Vasiluță P., Cofaru N., *The uniaxial tensile testing for a HDPE Geomembrane with concentrators*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, AJME, ISSN:1583-7904, nr.02/2016, Cluj.
- [Vas16-5] Vasiluță P., Cofaru N., *Studies about the geosynthetics used in ecological landfill*, Sesiunea anuală de lucrări științifice IMT Oradea, Băile Felix Spa, 26-28 Mai 2016, în curs de publicare.
- [Vas16-6] Vasiluță P., Cofaru N., *Studies on predictive virtual models based on finite element analysis on behavior of geomembranes*, Sesiunea anuală de lucrări științifice IMT Oradea, Băile Felix Spa, 26-28 Mai 2016, în curs de publicare.
- [Vas16-7] Vasiluță P., Cofaru N., Popa D., *Ecological landfill folded geomembranes behavior during virtual experiments*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2012.
- [Vas16-8] Vasiluță P., Cofaru N., Popa D., *Mathematical model for total solar radiation determination at the soil level*, Lux Libris Publishing House, 2012.
- [Vas16-9] Vasiluță P., Cofaru N., Popa D., *Interactive AUTOLIPS software for AutoCAD made to calculate the total solar radiation during a day starting from latitude and longitude values for a given position*, Lux Libris Publishing House, 2012.

- [Qia02] Qian X., Koerner R.M., Gray D.H., *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [Vil99] Villard P., Gourc J.P., Feki M., *Analysis of geosynthetic lining system (GLS) undergoing large deformations*. *Geotextiles and Geomembranes* 17, p.17-32, 1999.
- [War05] Warith M.A., Evgin E., Benson P.A.S., *Suitability of shredded tires for use in landfill leachate collection systems*, *Waste Management* 24, 967–979, 2005.
- [Wil00] Wilson – Fahmy R.F., Narejo D., Koerner R.M., *Puncture protection of geomembranes. Part I Theory*. *Geosynthetics International*, 605-628, 2000.
- [Xia06] Xia Q., Cheng X., Hu Y., Ruan F., *Finite element simulation and experimental investigation on the forming forces of 3D non-axisymmetrical tubes spinning*, *Mech Science*, p.726-735, 2006.
- [Yes05] Yesiller N., Cekic A., *Determination of surface and thickness characteristics of textured geomembranes using image analysis*, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM vol 28, p. 275-287, 2005.
- [Zam12] Zamara K.A., Dixon N., Jones D.R.V., Fowmes G., *Monitoring of a landfill side slope lining system: instrument selection, installation and performance*, *Geotextiles and Geomembranes* 35, p.1-13, 2012.
- [Zor97] Zornberg J.G., Giroud J.P., *Uplift of Geomembranes by Wind – Extension of Equations* *Geosynthetics International*, IFAI, Roseville, MN, USA, Vol 4 No 2 , p. 187-207, 1997.
- [WCR] www.creeza.com/tehnologie/constructii/Geomembranele186.php
- [WDE] www.deseuri-online.ro/new/download/Depozitare.pdf
- [WEC] ecobihor.ro/depozit_ecologic.html
- [WEU] www.euroem.ro/tevi-perforate-drenaj.php
- [WGC] www.geocons.ro/conducte-de-drenaj.html
- [WGE] www.geocom-sa.ro
- [WIN] www.inas.ro/ansys/structural-analysis/ansys-mechanics
- [WLE] legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/122639
- [WLR] www.leister-romania.ro/TWINNY-T--TWINNY-T-USB
- [WME] www.mecanoplastica.ro/aparate-si-dispozitive-de-testare-si-verificare-a-calitatii-sudurii-la-materiale-plastice
- [WML] www.mlingenieria.com/eng/geomembrana.php
- [WNA] eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s02#s02
- [WNE] nextcity.org/daily/entry/what-it-takes-to-turn-a-massive-staten-island-landfill-into-a-park
- [WTE] www.technicinvest.ro/?Materiale:HDPE:Detalii_instalare: Descriere_HDPE
- [WTR] www.triplast.ro/ro/drenaje.htm