

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS

---

Fakulteti i Gjeologjisë dhe i Minierave

Shkolla e Doktoraturës

“Gjeoshkencat, Burimet Natyrore dhe Mjedi”

Disertacion Doktorature

**METODIKAT E PËRMIRËSIMIT  
TË DHERAVE ME VETI  
FIZIKO-MEKANIKE TË DOBËTA**

Udhëheqës Shkencor:  
Prof. Dr. PËRPARIM HOXHA

Doktoranti:  
REDI MUÇI

---

TIRANË, 2021



REDİ MUĞI, 2021

**Copyleft**

Udhëheqësi i Redi Muçit vërteton se ky është versioni i miratuar i disertacionit të mëposhtëm:

**METODIKAT E PËRMIRËSIMIT TË VETIVE  
FIZIKO-MEKANIKE TË DHERAVE TË DOBËTA**

Prof. Dr. Përparim Hoxha



**METODIKAT E PËRMIRËSIMIT TË VETIVE  
FIZIKO-MEKANIKE TË DHERAVE TË DOBËTA**

Përgatitur nga MSc Redi Muçi

Disertacion i paraqitur në Fakultetin e Gjeologjisë dhe Minierave Universiteti  
Politeknik i Tiranës Në përputhje të plotë me kërkesat për gradën Doktor

Universiteti Politeknik i Tiranës Maj, 2021



**Dedikuar** *Malgorzata-s*

## Mirënjohje

Siç ndodh zakonisht në të tilla raste, është vetëm në përfundim të një pune të gjatë e të shtrirë në kohë që kupton kontributin e gjithë atyre njerëzve të cilët bujarisht kanë dhënë nga koha e tyre në mënyrë që ky punim të realizohet.

Nëse puna konkrete dhe e përditshme do ishte kriteri kryesor në hapjen e listës së falenderimeve, do më duhej ta nisja nga studentet/ët që në kuadër të punës së tyre të diplomës kanë kontribuar me rezultatet e provave laboratorike edhe në këtë disertacion, e këtu përmend Jennifer Likën, Fatma Sinajn dhe Olsi Alimadhin. Uroj që t'i kem kolegë sa më parë!

Kolegët dhe bashkëpunëtorët më kanë ndihmuar me ekspertizën dhe njohuritë e tyre, por edhe me praninë e tyre fizike në ekspeditat e shpeshta në kodrën e Currilave e më tej. Gjej rastin të falenderoj udhëheqësin e disertacionit, Prof. Dr. Përparim Hoxhën, për këshillat dhe sugjerimet që e kanë *litifikuar* këtë punim; shokun dhe kolegun Dr. Oltion Fociron, në radhë të parë si motivuesin dhe nxitësin kryesor për përfundimin e kësaj pune, në radhë të dytë që më ka asistuar përherë me njohuritë e tij me programin Latex, e në radhë të tretë si 'bashkëvuajtësin' nëpër konferencat ndërkombëtare; Dr. Jeton Pekmezin, i cili me 'heshtën' e tij të Total Station-it nuk përtoi kurrë të ngjitet më të përpjetë kodrës, e më tej të punojë e të përpunojë matjet e bëra deri në formën që paraqiten në këtë punim; falenderoj Dr. Klodian Skramen, bashkautorin e shumë publikimeve, për mbështetjen e vazhdueshme; Prof. Asoc. Dr. Shkëlqim Dajën për lokalizimin e argjilave të pliocenit dhe orientimin që i ka dhënë punës time që nga fillimi; Prof. Dr. Çerçis Durmishin për prezantimin me inxhinierët e fabrikës Titan si dhe për lokalizimin e hirit qymyror të Maliqit në udhëtimin e paharrueshëm; falenderoj Dr. Altin Karriqin dhe Emiljano Gjuren për ndihmën që më dhanë me matjet e 'Prerjes reale' edhe pse në fund nuk ishin rezultative; falenderoj gjithashtu Prof. Dr. Thoma Korinin, Prof. Dr. Agim Sinojmerin dhe Dr. Elsa Dindin për leximin që i bënë punimit.

Një falenderim i veçantë shkon për punonjësit e fabrikës së çimentos Titan, për Teodorin, Arbrin, Enin e të gjithë punonjësit e tjerë (emrat e të cilëve, fatkeqsisht, nuk i kujtoj të gjitha), te të cilët e gjeta gjithmonë derën hapur dhe ata vetë të gatshëm për të më ndihmuar.

Falenderoj prindërit e mi, Frosinën dhe Fredin, që qëkurse kam lerë më kanë mbështetur vazhdimisht e katërçipërisht pa kushte. Ia uroj vetes që një ditë të jem një prind sa gjysma e tyre.

Të fundit për nga radha por jo për nga rëndësia, falenderoj Alexandra Elbakyan-ën, shkencëtaren kazake e cila përmes portalit të arkivave sci-hub.do - nga ku mund të shkarkohen në mënyrë pirate mbi 51 milionë artikuj shkencorë - ka bërë të mundur realizimin e punimeve të shumë kërkuesve shkencorë në mbarë botën, pëfshi edhe personin në fjalë. *Omnia sunt communia!*

## **Deklaratë mbi origjinalitetin**

### **Redi Muçi**

Deklaroj se kjo tezë përfaqëson punën time origjinale dhe nuk kam përdorur burime të tjera, përveç atyre të evidentuara nëpërmjet citimeve. Të gjitha të dhënat, tabelat, figurat dhe citimet në tekst, të cilat janë riprodhuar prej ndonjë burimi tjetër, duke përfshirë dhe internetin, janë pranuar në mënyrë eksplicite si të tilla. Jam i vetëdijshëm se në rast të mospërputhjeve, Senati i UPT-së është i ngarkuar të më revokojë gradën 'Doktor', që më është dhënë mbi bazën e kësaj teze, në përputhje me 'Rregulloren e Programeve të Ciklit të tretë (Doktoratë) në UPT', dt..... neni 21.

**Tiranë, më 27.05.2021**

## Fjalorth

*A - Aktiviteti*

*C - Çimento*

*c - Kohezioni*

*C<sub>3</sub>S - Silikat trekalcik*

*C<sub>2</sub>S - Silikat dykalcik*

*C<sub>3</sub>A - Aluminat trekalcik*

*C<sub>4</sub>AF - Aluminoferit tetrakalcik*

*CSH - Hidrosilikat kalciumi*

*CAH - Hidroaluminat kalciumi*

*CASH - Hidrosilico-aluminat kalciumi*

*CS'H - Hidrosulfat kalciumi*

*CAFS'H - Hidrosulfato-ferrito-aluminat kalciumi*

*c<sub>u</sub> - Rezistenca në kushtet pa drenim*

*DMM - Metoda e përzierjes në thellësi*

*δ<sub>max</sub> - Ngjeshmëria maksimale*

*E<sub>S</sub> - Moduli i Elasticitetit*

*HQ - Hiri qymyror*

*I<sub>L</sub> - Treguesi (indeksi) i rrjedhshmërisë*

*G - Gëlqere*

*m - Moduli hidraulik*

*LL - Kufiri i rrjedhshmërisë*

*PI - Treguesi (indeksi) i plasticitetit*

*PL - Kufiri i plasticitetit*

*q<sub>u(t)</sub> - Rezistenca në shtypjen njëboshtore në kohën t*

*SMM - Metoda e përzierjes në sipërfaqe*

*SL - Kufiri i tkurrjes*

*w - Lagështia natyrore*

*wopt* - Lagështia optimale

*wcr* - Koeficienti i raportit ujë/çimento

*wtrc* - Koeficienti i raportit ujë/çimento + agjent dytësor

*XRD* - Metoda e difraksionit me rreze-x

*XRF* - Prova e spektrometrisë fluoreshente me rreze-x

# Methods of improving physical and mechanical properties of weak soils

REDI MUÇI

Polytechnic University of Tirana

redi.muci@fgjm.edu.al

## Abstract

*The application of methods for improving the physical and mechanical properties of weak soils by mixing them with chemical agents is an unexplored domain in Albania. This study makes a first attempt in this direction, by considering the expansive clays of the region of Currila, near in the city of Durrës, and the effects of cement, lime and fly-ash as stabilizing chemical agents. A number of laboratory tests were performed in order to assess the effects of agents on the swelling potential of the clay, Atterberg Limits and Activity, plastic behaviour, compressibility, unconfined compression strength, wetting/drying resistance, as well as the undrained shear strength of the soil. Various quantities of the chemical agents were used, in different mixing combinations, as well as taking into consideration the role of the curing periods of the mixes. The results show that after the treatment the PI value changed from the one indicating a 'high' swelling potential to 'medium', whereas the Activity parameter changed from 'normal' to 'inactive' soils.*

## Keywords

soil-mixing, expansive clays, cement, lime, fly-ash, swelling potential, unconfined compression strength, Activity







# Pasqyra e Lëndës

Lista e Figurave xix

Lista e Tabelave xxiii

|          |                                                                          |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Rëndësia e studimit të metodikave të përmirësimit të dherave</b>      | <b>1</b> |
| 1.1      | Hyrje . . . . .                                                          | 1        |
| 1.2      | Qëllimi i punimit . . . . .                                              | 4        |
| <b>2</b> | <b>Stabilizimi i dherave me veti të dobëta</b>                           | <b>7</b> |
| 2.1      | Dherat me veti të dobëta fiziko-mekanike . . . . .                       | 7        |
| 2.2      | Zbatueshmëria e teknikave të përmirësimit . . . . .                      | 11       |
| 2.3      | Stabilizimi i dherave me agjentë kimikë . . . . .                        | 15       |
| 2.3.1    | Agjentët kimikë që përdoren në stabilizim . . . . .                      | 15       |
| 2.3.2    | Stabilizimi me çimento Portland . . . . .                                | 20       |
| 2.3.2.1  | Stabilizimi përmes hidratimit . . . . .                                  | 20       |
| 2.3.2.2  | Stabilizimi përmes shkëmbimit të kationeve . . . . .                     | 23       |
| 2.3.2.3  | Stabilizimi përmes ristrukturimit të grimcave . . . . .                  | 24       |
| 2.3.2.4  | Stabilizimi përmes reaksioneve pucolanike . . . . .                      | 26       |
| 2.3.2.5  | Faktorët që ndikojnë në reaksionin me çimento . . . . .                  | 26       |
| 2.3.2.6  | Efektet e trajtimit të dherave me çimento . . . . .                      | 33       |
| 2.3.3    | Stabilizimi me gëlqere . . . . .                                         | 37       |
| 2.3.3.1  | Reaksionet kimike të gëlqerja . . . . .                                  | 38       |
| 2.3.3.2  | Stabilizimi nëpërmjet reaksioneve pucolanike . . . . .                   | 40       |
| 2.3.3.3  | Faktorët që ndikojnë në reaksionin me gëlqere . . . . .                  | 41       |
| 2.3.3.4  | Efektet e trajtimit të dherave me gëlqere . . . . .                      | 46       |
| 2.3.4    | Stabilizimi me hi qymyror . . . . .                                      | 48       |
| 2.3.4.1  | Konsiderata mbi ndikimin mjedisor të hirit qymyror . . . . .             | 50       |
| 2.3.5    | Analizë e kostove të përdorimit të agjentëve kimikë . . . . .            | 52       |
| 2.4      | Aplikimi <i>in-situ</i> i teknikave të përmirësimit të dherave . . . . . | 53       |
| 2.4.1    | Metodat <i>in-situ</i> . . . . .                                         | 53       |

|          |                                                                                       |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.2    | Përzierje me ujë në aplikimin e DMM . . . . .                                         | 54         |
| 2.4.3    | Përzierje e thatë në aplikimin e DMM . . . . .                                        | 55         |
| 2.4.4    | Roli i kolonave në DMM . . . . .                                                      | 55         |
| <b>3</b> | <b>Materialet dhe procedurat e provave</b>                                            | <b>59</b>  |
| 3.1      | Argjilat e Pliocenit të poshtëm . . . . .                                             | 59         |
| 3.1.1    | Burimi dhe problematika . . . . .                                                     | 59         |
| 3.1.2    | Parametrat fizike, vetitë plastike, konsistenca dhe përbërja granulometrike . . . . . | 62         |
| 3.1.3    | Analiza kimike dhe mineralogjike . . . . .                                            | 65         |
| 3.1.4    | Karakteristikat e ngjeshjes . . . . .                                                 | 67         |
| 3.2      | Çimentoja dhe gëlqerja . . . . .                                                      | 67         |
| 3.3      | Hiri qymyror . . . . .                                                                | 68         |
| 3.4      | Përgatitja e përzierjeve . . . . .                                                    | 70         |
| 3.5      | Vetitë e plasticitetit . . . . .                                                      | 71         |
| 3.6      | Prova e pH-it . . . . .                                                               | 72         |
| 3.7      | Aftësia e bymimit . . . . .                                                           | 74         |
| 3.8      | Rezistenca në shtypjen njëboshtore . . . . .                                          | 75         |
| 3.9      | Rezistenca ndaj cikleve të lagies-tharjes . . . . .                                   | 76         |
| <b>4</b> | <b>Rezultatet</b>                                                                     | <b>79</b>  |
| 4.1      | Rezultate: raportet e përzierjeve . . . . .                                           | 79         |
| 4.2      | Rezultate: ngjeshmëria . . . . .                                                      | 81         |
| 4.3      | Rezultate: kufijtë e Atterberg-ut dhe Aktiviteti . . . . .                            | 82         |
| 4.4      | Rezultate: sjellja plastike . . . . .                                                 | 88         |
| 4.5      | Rezultate: aftësia e bymimit . . . . .                                                | 91         |
| 4.6      | Rezultate: rezistenca e argjilës në shtypjen njëboshtore . . . . .                    | 95         |
| 4.7      | Rezultate: rezistenca ndaj lagies/tharjes . . . . .                                   | 97         |
| 4.8      | Rezultate: rezistenca në prerje në kushtet pa drenim . . . . .                        | 101        |
| <b>5</b> | <b>Rast studimi - kodra e Currilave, Durrës</b>                                       | <b>105</b> |
| 5.1      | Karakteristikat gjeologjike dhe geomorfologjike të zonës së Durrësit . . . . .        | 106        |
| 5.2      | Karakteristika të përgjithshme të shpatit të Currilave . . . . .                      | 109        |
| 5.3      | Rilevimi topografik dhe monitorimi i shpatit të Currilave . . . . .                   | 112        |
| 5.4      | Konkluzione . . . . .                                                                 | 118        |
| <b>6</b> | <b>Përfundime dhe rekomandime</b>                                                     | <b>119</b> |
| <b>A</b> | <b>Shtojca</b>                                                                        | <b>125</b> |
|          | <b>Bibliografia</b>                                                                   | <b>143</b> |

# Lista e Figurave

|      |                                                                                                                                                                                                |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Aktiviteti sipas Skempton (1953) . . . . .                                                                                                                                                     | 10 |
| 2.2  | Paraqitje skematike e reaksioneve stabilizuese të çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror me dherat . . . . .                                                                                     | 19 |
| 2.3  | Paraqitje skematike e procesit të hidratimit . . . . .                                                                                                                                         | 22 |
| 2.4  | Paraqitje skematike e efektit të shkëmbimit të kationeve të grimcat e argjilës . . . . .                                                                                                       | 24 |
| 2.5  | Ristrukturimi i grimcave të argjilës pas flokulimit . . . . .                                                                                                                                  | 25 |
| 2.6  | Paraqitje mikrografike e përmasave të a) rërës 2mm-50 $\mu$ m b) pluhurit 50-2 $\mu$ m dhe c) argjilës <2 $\mu$ m (Setiawan, përshtatur) .                                                     | 31 |
| 2.7  | Përmasat relative, trashësitë dhe sipërfaqet specifike për minerale argjilore (Yong & Warkentin, 1975, përshtatur) . . . . .                                                                   | 31 |
| 2.8  | Raste të zhvendosjeve dhe çarjeve të krijuara në argjilat e buta me aftësi të lartë bymimi (Currila, Durrës) . . . . .                                                                         | 38 |
| 2.9  | Pamje e zmadhuar e hirit qymyror . . . . .                                                                                                                                                     | 49 |
| 2.10 | Formacionet e ndërtimit të kolonave në metodën DMM . . . . .                                                                                                                                   | 54 |
| 2.11 | Aplikime të ndryshme të kolonave me gjatësi të ndryshme . . . . .                                                                                                                              | 55 |
| 2.12 | Raste të përdorimit të kolonave me çimento apo gëlqere si struktura mbështetëse kundër presionit anësor të dherave . . . . .                                                                   | 56 |
| 2.13 | Formacioni qelizor i izolimit të pilotave kundër efektit të lëngëzimit . . . . .                                                                                                               | 57 |
| 2.14 | Përdorimi i strukturave DMM si barriera kundër lëvizjes së ujit . . . . .                                                                                                                      | 57 |
| 2.15 | Izolimi i zonave të ndotura përmes metodës DMM . . . . .                                                                                                                                       | 58 |
| 3.1  | Paraqitje e shpërndarjes së formacioneve të argjilave të Pliocenit të poshtëm në Ultësirën Perëndimore (përshtatur nga Luzati S. (2017)) . . . . .                                             | 60 |
| 3.2  | Paraqitje e gjendjes së argjilave in-situ: (majtas) edhe pse e thatë në sipërfaqe, në brendësi përmban ujë; (djathtas) zhvillimi i sistemit të çarjeve në faqen vertikale të shpatit . . . . . | 61 |
| 3.3  | Kurbat granulometrike për katër mostrat e argjilës . . . . .                                                                                                                                   | 63 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4  | Paraqitje e argjilës në kodrën e Currilave: (sipër majtas) zhvendosje e murit mbajtës anësor si pasojë e tendencës së bymimit; (poshtë majtas) argjila rrënjësore; (djathtas) argjila e tjetërsuar që përbën trupin rrëshqitës. . . . . | 64 |
| 3.5  | Vlerësimi i aftësisë së bymimit të argjilës së Currilave sipas skemave të propozuara nga Dakshanamurthy & Raman, 1973 dhe PCA, 2008 . . . . .                                                                                           | 65 |
| 3.6  | Grafiku i ngjeshmërisë për argjilën . . . . .                                                                                                                                                                                           | 67 |
| 3.7  | Aparati Proctor . . . . .                                                                                                                                                                                                               | 67 |
| 3.8  | Material hiri qymyror i marrë në zonën e Maliqit në Korçë . . . . .                                                                                                                                                                     | 69 |
| 3.9  | Procesi i përzierjes së argjilës me çimento dhe hi qymyror . . . . .                                                                                                                                                                    | 70 |
| 3.10 | Kampioni i ngjeshur dhe i mbështjellë në letër polietileni për procesin e maturimit . . . . .                                                                                                                                           | 71 |
| 3.11 | Aparati i rënies së konit (majtas) dhe luga e Casagrande-s (djathtas) . . . . .                                                                                                                                                         | 72 |
| 3.12 | Shishet me përqindje të ndryshme agjentësh kimikë përzier me argjilën . . . . .                                                                                                                                                         | 73 |
| 3.13 | Qeliza e aparatit të triaksialit dhe shpejtësia e prerjes së kampionëve . . . . .                                                                                                                                                       | 76 |
| 4.1  | Prova e pH-it për përzierje me çimento . . . . .                                                                                                                                                                                        | 80 |
| 4.2  | Prova e pH-it për përzierje me gëlqere . . . . .                                                                                                                                                                                        | 80 |
| 4.3  | Prova e pH-it për përzierje me çimento dhe hi qymyror . . . . .                                                                                                                                                                         | 80 |
| 4.4  | Kurbat e ngjeshmërisë për argjilën e patrajtuar dhe të përzier me agjentë kimikë . . . . .                                                                                                                                              | 82 |
| 4.5  | Ndikimi i trajtimit me gëlqere për periudha të ndryshme maturimi . . . . .                                                                                                                                                              | 84 |
| 4.6  | Rezultatet e trajtimit të argjilës me çimento për periudha të ndryshme maturimi . . . . .                                                                                                                                               | 85 |
| 4.7  | Efekti i sasisë së çimentos te kufijtë e Atterberg-ut . . . . .                                                                                                                                                                         | 86 |
| 4.8  | Efekti i maturimit të treguesi i plasticitetit . . . . .                                                                                                                                                                                | 86 |
| 4.9  | Tendenca në rënie e parametrin të treguesit të plasticitetit për sasi të ndryshme Ç/HQ . . . . .                                                                                                                                        | 87 |
| 4.10 | Tendenca në rënie e parametrin të Aktivitetit për sasi të ndryshme Ç/HQ . . . . .                                                                                                                                                       | 88 |
| 4.11 | Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar 1.75% gëlqere . . . . .                                                                                                                                                     | 89 |
| 4.12 | Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar me çimento . . . . .                                                                                                                                                        | 90 |
| 4.13 | Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar me çimento dhe hi qymyror . . . . .                                                                                                                                         | 90 |
| 4.14 | Deformimi i argjilës së ngjeshur . . . . .                                                                                                                                                                                              | 91 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.15 | Bymimi/ulja për argjilën e ngjeshur . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 91  |
| 4.16 | Deformimi për 3% çimento për 7 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 92  |
| 4.17 | Bymimi/ulja për 3% çimento për 7 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 92  |
| 4.18 | Deformimi për 3% çimento për 28 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 93  |
| 4.19 | Bymimi/ulja për 3% çimento për 28 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 93  |
| 4.20 | Deformimi për 3.5Ç/8HQ për 7 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 93  |
| 4.21 | Bymimi/ulja për 3.5Ç/8HQ për 7 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 93  |
| 4.22 | Deformimi për 3.5Ç/8HQ për 28ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 93  |
| 4.23 | Bymimi/ulja për 3.5Ç/8HQ për 28 ditë . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 93  |
| 4.24 | Rezultatet e provës së aftësisë së bymimit të argjilës . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 94  |
| 4.25 | Rezistenca në shtypjen njëboshtore për 3.5Ç-8HQ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 96  |
| 4.26 | Deformimi dhe plani i këputjes për argjilën e ngjeshur të patra-<br>jtuar (majtas) dhe me 3.5Ç/8HQ (djathtas) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 97  |
| 4.27 | Kampionët para dhe pas ciklit të parë të lagies/tharjes a) argjilë<br>e ngjeshur e patrajtuar, b) argjilë me 1.75% gëlqere, c) argjilë<br>me 3% çimento dhe d) argjilë me 3.5% çimento dhe 8% hi<br>qymyror. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 98  |
| 4.28 | Kampioni i argjilës rrënjësore para dhe pas ciklit të parë . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 99  |
| 4.29 | Argjila në gjendje të rrjedhshme pasi ka ndodhur rrëshqitja . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 101 |
| 4.30 | Krahasimi i vlerave të rezistencës në kushtet pa drenim sipas<br>Hansbo, 1957 dhe Leroueil et al., 1983 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 103 |
| 4.31 | Luhatja e vlerave të rezistencës në kushtet pa drenim sipas<br>Federico, 1983 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 104 |
| 5.1  | Pamje 3D e zonës jugore të Durrësit me lokalitetet përreth<br>(imazhi i marrë nga Google Earth Image©2019TerraMetrics);<br>b) Seksion prerës i zonës ku tregohen karakteristikat strukturore<br>të basenit Periadriatik nga Durrësi në Krujë (sipas Aliaj et al.,<br>1996, te Meço & Aliaj, 2000). . . . .                                                                                                                                                                                            | 107 |
| 5.2  | Hartë ku tregohet Këneta e Durrësit para bonifikimit (Übersichtskarte<br>von Mittel-Europa, 1914) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 108 |
| 5.3  | Shkëmbinjtë rrënjësorë në Durrës - a) Pamje nga plazhi i Cur-<br>rilave dhe e kodrës së Malit të Durrësit (187 m) nga ana jugore,<br>me një rënie 40 gradë në lindje që janë formacionet e Maglajt<br>dhe Helmasit (Mesinian dhe Pliocen i poshtëm, respektivisht);<br>b) formacionet e Helmasit si përzierje rërë-argjilë; c) pamje nga<br>gurorja e fabrikës së tullave nga drejtimi veri-perëndimor; d)<br>argjilë e mbikonsoliduar e formacioneve të Helmasit (Mancini<br>et al., 2020) . . . . . | 109 |

|      |                                                                                                                                                                             |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4  | Vegjetaconi në pjesën e poshtme të kodrës; blloqe argjile me sistem të zhvilluar çarjesh; kanale natyrore drenimi të krijuara nga rrjedha e ujërave sipërfaqësore . . . . . | 110 |
| 5.5  | Paraqitje e shëtitores në Kodrën e Currilave në vitin 2015 dhe në vitin 2019 . . . . .                                                                                      | 111 |
| 5.6  | Deformimet dhe çarjet që kanë pëzuar rrjetat mbajtëse për shkak të shkrifërimit të argjilës . . . . .                                                                       | 111 |
| 5.7  | Foto ajrore e vitit 2016 ku tregohet drejtimi i rrëshqitjeve të para që shfaqen në shpat pas stabilizimit të 2015. . . . .                                                  | 113 |
| 5.8  | Foto me drone ku dallohen rrëshqitjet aktive pranë zonave të banuara dhe dëmtimet në kanalet e drenimit . . . . .                                                           | 113 |
| 5.9  | Procedura e monitorimit të shpatit përmes nguljes së piketave të hekurit dhe matjes së pikave me GPS dhe Total Station . .                                                  | 115 |
| 5.10 | Seksionet e prerjeve tërthore të kodrës së Currilave dhe piketat e monitorimit 2018-19 . . . . .                                                                            | 115 |
| 5.11 | Zhvendosja e piketave përgjatë kodrës së Currilave 2018-19 . .                                                                                                              | 117 |
| 6.1  | Paraqitje skematike e ndërhyrjes në kodrën e Currilave . . . .                                                                                                              | 122 |



# Lista e Tabelave

|      |                                                                                                                                                                    |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Kufijtë e Aterberg-ut në raport me Aktivitetin . . . . .                                                                                                           | 10 |
| 2.2  | Ndarja e TPDH në varësi të efekteve që kanë në dhera . . . . .                                                                                                     | 12 |
| 2.3  | Kufijtë e Aterberg-ut kundrejt Aktivitetit . . . . .                                                                                                               | 14 |
| 2.4  | Reaksionet e agjentëve hidraulikë dhe pucolanikë . . . . .                                                                                                         | 16 |
| 2.5  | Përbërja mineralogjike tipike e çimentos dhe simbolet . . . . .                                                                                                    | 21 |
| 2.6  | Komponimet kimike të pranishme në çimento . . . . .                                                                                                                | 21 |
| 2.7  | Përqindjet e çimentos në varësi të llojit të dherave të klasifikuara sipas AASHTO dhe USCS (Mitchell, 1959) . . . . .                                              | 27 |
| 2.8  | Vlerat tipike të rezistencës në shtypje për dhera të trajtuar me 10% çimento . . . . .                                                                             | 28 |
| 2.9  | Sasia e produkteve të reaksionit për 100 g agjenti stabilizues . . . . .                                                                                           | 41 |
| 2.10 | Ndikimi i agjentëve kimikë në llojet e ndryshe të dherave . . . . .                                                                                                | 44 |
| 2.11 | Ndikimi i gëlqeres në plasticitetin e argjilave . . . . .                                                                                                          | 45 |
| 3.1  | Karakteristikat fizike të katër mostrave të argjilës . . . . .                                                                                                     | 63 |
| 3.2  | Analiza kimike e materialit të argjilës . . . . .                                                                                                                  | 66 |
| 3.3  | Analiza kimike e çimentos dhe gëlqeres . . . . .                                                                                                                   | 68 |
| 3.4  | Krahasimi mes përbërjes kimike të hirit qymyror nga zona e Maliqit dhe klasave C dhe F . . . . .                                                                   | 69 |
| 3.5  | Relacioni mes rezistencës në shtypje dhe cilësisë së nënshtresës . . . . .                                                                                         | 75 |
| 4.1  | Vlerat e pH të argjilës dhe agjentëve kimikë . . . . .                                                                                                             | 79 |
| 4.2  | Rezultatet e provës së ngjeshmërisë për përzierje të ndryshme . . . . .                                                                                            | 81 |
| 4.3  | Rezultatet e provave të përcaktimit të kufijve të Atterberg-ut me dy metodat dhe vlerat mesatare . . . . .                                                         | 83 |
| 4.4  | Rezultatet e trajtimit të argjilës me përqindje të ndryshme të çimentos dhe hirit qymyror, ku merret në konsideratë efekti i çimentos dhe më pas i hirit . . . . . | 85 |
| 4.5  | Rezultatet e dy cikleve të para të provës së lagies/tharjes . . . . .                                                                                              | 99 |



# Kapitulli 1

## Rëndësia e studimit të metodikave të përmirësimit të dherave

### 1.1 Hyrje

Me zhvillimin e fushës së gjeologjisë inxhinierike në vendin tonë, sidomos pas vitit 1953, u bë e mundur shtrirja e një rrjeti infrastrukturor dhe e një zhvillimi urban në mbarë vendin ([Konomi, 2002]). Në praktikën inxhinierike që u zbatua, hapësira me shtrirje të gjerë shpesh klasifikoheshin si të papërshtatshme nga pikëpamja gjeologo-inxhinierike për t'u përdorur si sheshe ndërtimi. Këtu futeshin dherat me veti fiziko-mekanike të dobëta, sidomos lymet dhe depozitimet kënetore. Projektet inxhinierike për ndërtimin e rrugëve, urave, banesave, digave, tuneleve etj. në shumë raste tentonin t'i shmangeshin terreneve të tilla duke u zhvendosur në zona me formacione dhe karakteristika më të përshtatshme. Pas viteve '90, në një kohë kur zhvillimi kaotik urban po shtrihej në mënyrë eksponenciale dhe tentohej të shfrytëzoheshin të gjitha hapësirat e mundshme pranë zonave urbane, terrenet e klasifikuara më parë si të papërshtatshme filluan të përdoreheshin si hapësira ndërtimi. Rritja më e shpejtë ndodhi në pjesën perëndimore të vendit për shkak të pozitës së favorshme gjeografike dhe terrenit fushor. Megjithatë, zona të caktuara në Ulëtisrën Perëndimore të Shqipërisë përbëhen nga depozitime kënetore dhe janë të rrezikuara nga fenomene të ndryshme rrëshqitjesh, uljesh të konsiderueshme, nga fenomeni i lëngëzimit si dhe nga amplifikimi i truallit në rast tërmetesh, siç u evidentua në tërmetin e nëntorit 2019. Në përgjithësi, masat që janë ndërmarrë për përdorimin e këtyre zonave si terrene ndërtimi konsistojnë kryesisht në dy procedura: në radhë të parë në gjurmimin e shtresës së dobët

## **2 Rëndësia e studimit të metodikave të përmirësimit të dherave**

dhe zëvendësimin e saj me dhera me parametra që i përshtaten projektit (kjo metodë zbatohet sidomos për dhera organike, si për shembull torfa, që ndodhen afër sipërfaqes në thellësi maksimale 1 deri në 2 m); në radhë të dytë, përdorimin e themeleve pllakë apo me pilota që arrijnë thellësi të konsiderueshme deri sa takojnë në shtresa më të qëndrueshme. Edhe pse këto masa kanë rezultuar relativisht të efektshme në shumicën e rasteve, vlen të konsiderohet kostoja e lartë dhe impakti mjedisor që ato sjellin. Megjithatë, ekzistojnë metoda alternative ndaj teknikave të sipërpërmendura, siç janë ato të modifikimit dhe stabilizimit të truallit në terren, që synojnë përmirësimin e parametrave e tij fiziko-mekanike.

Ndër teknikat e shumta me përdorim të gjerë mund të përmendet ajo më e thjeshta e përmirësimit të dherave përmes procesit të kompaktësimit (ngjeshjes) dhe drenimit të ujit. Disa raste ku aplikohet kjo metodë janë kompaktësimi i shtresave rrugore në terren me makineri të rënda, vendosja e mbingarkesave për konsolidim, përdorimi i kolonave të drenimit me material rëror, përdorimi i kanaleve sipërfaqësore të drenimit etj. Disa teknika të tjera konsistojnë në përforsimin e dherave përmes ndërthurjes me elemente të ndryshme. Këtu mund të përmenden kolonat me gurë, ato me çimento dhe gëlqere, fibrat gjeosintetike, ankorimet etj. Teknikat në fjalë, përveçse në stabilizimin e dherave, kanë rezultuar të suksesshme edhe në rastet e izolimit të dherave të ndotur, duke mënjeluar përhapjen e kontaminimit çka mund të rezultojë në rrezikimin e shëndetit në rast të përzierjes së ndotësve me burimet nëntokësore të ujërave të pijshëm. Përshkrimi më i detajuar i teknikave të sipërpërmendura bëhet në kapitujt në vijim. Ndërkohë, një përdorim të gjerë po gjejnë teknikat e përmirësimit të vetive fiziko-mekanike të dherave përmes përzierjes së tyre me agjentë kimikë. Kjo teknikë sjell modifikimin e granulometrisë së grimcave, e për pasojë të sjelljes së tyre plastike, aftësisë së bymimit, shoqëruar me rritjen e densitetin dhe eventualisht rritjen e rezistencës. Përzierja e dherave kryhet me sasi të vogla agjentësh të ndryshëm stabilizues si çimento, gëlqere, hi qymyror, skorjet metalore të furnaltave, etj. Këto teknika kanë dhënë rezultate të rëndësishme ([Ahnberg et al., 2003], [Lorenzo et al., 2006], [Muçi et al., 2018]).

Përdorimi i agjentëve kimikë në stabilizimin e trojeve në të cilat mbështeten shtresa rrugore ose struktura inxhinierike, ka gjetur zbatueshmëri që në epokën e lashtësisë. Kështu, përzierja e dherave argjilore me gëlqere është përdorur në ndërtimin e piramidave të Shensi që ndodhen në rajonin e Kinës së sotme, të cilat janë më të mëdha se piramidat e Egjiptit dhe datojnë rreth 3000 vjet p.e.s ([McDowell, 1959]). Romakët gjithashtu e kanë përdorur gjerësisht këtë teknikë në stabilizimin e nënshtresave rrugore. Në epokën moderne, vende si Japonia, Gjermania dhe Suedia e kanë aplikuar këtë metodë që në fillimet e

shekullit të shkuar, teksa projekti i parë në SHBA ku u përdor çimentoja si stabilizues daton në vitin 1935 në Johnsonville të Karolinës së Jugut ([Das, 1990]). Në vendin tonë, megjithatë, teknika të tilla kanë gjetur përdorim tejet të kufizuar, në dijeninë e autorit vetëm në projektin për rikonstruksionit të rrugës Patos-Roskovec, ku u përdor përzierja e materialit me gëlqere, e vënë në zbatim nga një firmë kontraktuese italiane. Për më tepër, në vendin tonë nuk ekziston në kushtet e projektimit një normë që të specifikojë procedurën e përdorimit të agjentëve kimikë në stabilizimin e dherave në ndërtimin e veprave të ndryshme inxhinierike.

Metoda e stabilizimit të dherave përmes përzierjes me agjentë kimikë sjell një sërë avantazhesh kundrejt metodave tradicionale: i) nëpërmjet mënjanimit të nevojës për të gërmuar shtresën e papërshtatshme zvogëlohet dëmtimi mjedisor që do vinte nga depozitimi i dheut të padëshirueshëm në ambiente të hapura, zakonisht pranë zonës së punimit; ii) procedura e përzierjes në terrenin e ndërtimit e rrit ndjeshëm ritmin e punimeve; iii) mënjanohej kostot e larta të transportit në rastet kur dherat që do ta zëvendësojnë shtresën e dobët nuk gjenden në afërsi të sheshit të ndërtimit; iv) mënjanohej kostot e larta të përdorimit të themeleve me pilota apo themeleve pllakë; v) ulen ndjeshëm kostot e shtresave rrugore kur ato trajtohen me agjentë kimikë ([Sivakumar, 2012]).

Pra mund të thuhet se në përgjithësi, ato që njihen si *teknikat e përmirësimit të dherave* (TPDH), shërbejnë për përmirësimin e parametrave *in-situ* duke zvogëluar koston dhe përshtetësitë ritmin e punimeve. Këto teknika janë të larmishme dhe konsistojnë kryesisht në rritjen e rezistencës në prerje dhe qëndrueshmërisë së dherave nëpërmjet rritjes së dendësisë dhe çimentimit të grimcave me njëra-tjetrën, çka bën që ato të gjejnë përdorim edhe në stabilizimin e shpateve. Gjithashtu ato mund të shërbejnë për të formuar një strukturë mbështetëse për shpërndarjen e ngarkesës në brendësi të shtresës, ngjashëm me pilotat. Për rrjedhojë, përdorimi i këtyre teknikave është veçanërisht i vlefshëm për inxhinierinë e transportit në ndërtimin e rrugëve automobilistike, pasi mënjanimi i terreneve me parametra të papërshtatshme është shpeshherë i pamundur dhe e vetmja alternativë me kosto të pranueshme mund të ngelet pikërisht përdorimi i teknikave të përmirësimit të dherave. Gjithashtu, në ndërtimin e veprave të artit urban apo edhe të ndërtesave shumëkatëshe, zvogëlimi i koston së themeleve që do të përdoren luan shpeshherë një rol të rëndësishëm në koston totale të objekteve.

## 1.2 Qëllimi i punimit

Si një vend në zhvillim, urbanizimi në vendin tonë ka pasur një shtrirje të gjerë, sidomos sa i përket infrastrukturës së banesave dhe rrugëve automobilistike. Megjithatë, teknikat e përmirësimit të dherave nëpërmejt përdorimit të agjentëve kimikë kanë pasur një zbatueshmëri të kufizuar nga kontraktorë të huaj e vendas. Për më tepër, në një kohë kur në Shqipëri po evidentohet gjithnjë e më tepër nevoja e përshtatjes së *Eurocode*-ve në kushtin e projektimit teknik, kjo fushë ngelet e pastudiuar sa i përket efekteve pozitive që agjentë të ndryshëm kimikë mund të kenë mbi terrenet problematike të ndërtimit.

Qëllimi i këtij punimi është analizimi i disa prej efekteve kryesore që agjentët kimikë të çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror kanë mbi një material dheu që konsiderohet si me veti të dobëta fiziko-mekanike. Materiali i dheut që u mor në shqyrtim ishte ai i argjilave të Pliocenit të poshtëm, formacionet e Helmësit, sipas ([Shallo et al., 2002]). Këto depozitime takohen në disa zona të Ultësirës Perëndimore të vendit tonë në trajtën e shkëmbit rrënjësor të mbikonsoliduar, por karakterin "e dobët" ia jep transformimi që pëson kur vjen në kontakt me ujin. Në këto raste, tendeca e tij është që të bymehet duke pësuar çarje dhe duke u thërrmuar. Kur sasia e ujit është e mjaftueshme, argjila eventualisht sillet si një material dheu në gjendje të rrjedhshme. Prandaj, në këtë studim u analizua ndryshimi i vetive të argjilës në trajtën e vet të shkrifëruar të depozitimeve. Kampionimi i materialit u krye në zonën e Currilave, në Durrës, ku reshjet sezonale - prej vitesh tashmë - shkaktojnë rreshqitjen e kodrës duke bllokuar një pjesë të rrugës automobilistike dhe dëmtuar bizneset përreth.

Si agjentë kimikë të çimentos dhe gëlqeres u përdorën materiale komerciale në industrinë e ndërtimit që gjenden në shitje në tregun shqiptar, ndërsa si burim i hirit qymyror u përdor materiali i depozituar në ambient të hapur në zonën e Maliqit të Korçës, nënprodukt ky i djegies së qymyrit në stacionin e dikurshëm të prodhimit të energjisë elektrike në atë zonë.

Për materialin e argjilës u përcaktuan karakteristikat dhe vetitë e ndryshme përmes provave laboratorike, teksa analiza e përbërjes kimike u krye si për argjilën ashtu edhe për agjentët kimikë. Për provat fizike u përdor material i shkrifët i argjilës ndërsa për provat e qëndrueshmërisë dhe të aftësisë së bymimit kampioni u ngjesh maksimalisht bazuar te parametri optimal i lagështisë i përcaktuar në laborator. U përcaktuan gjithashtu sasitë e agjentëve kimikë që më pas u përdorën në përzierje me argjilën. Sjellja e materialit të përzier me përqindje të ndryshme agjentësh kimikë dhe të maturuar për periudha kohore të caktuara u krahasua me sjelljen e argjilës natyrore. Kështu, u analizuan ndryshimi i kufijve të Atterberg-ut, përbërjes granulometrike, ndryshimi i karakteristikave të ngjeshmërisë, sjellja plastike e dheut, aftësia e bymimit, rezistenca në shtypjen njëboshtore dhe u llogarit me formula empirike rezis-

tenca në kushtet pa drenim. Si përfundim u mor në konsideratë kodra e Currilave, nga ku u morën kampionët e argjilës, si një rast studimi. Për këtë u bë fillimisht monitorimi i zhvendosjes që pëson shpati në sezone të ndryshme, më tej u nxorën seksionet e shpatit me të cilat u bë një analizë e mekanizmit të shkatërrimit të qëndrueshmërisë së shpatit.

Qëllimi i mbramë i këtij punimi është që të hedhë një hap të parë, sado të vogël, në fushën e studimit të teknikave të përmirësimit të dherave përmes trajtimit së tyre me agjentë kimikë, me shpresën se ai mund të shërbejë si një pikënisje për studime të mëtejshme e më të thelluara në këtë fushë. Rezultatet e nxjerra nga ky punim mund të ndihmojnë në evidentimin e avantazheve që paraqesin këto si metoda për stabilizimin e dherave përkundrejt metodave tradicionale, si dhe t'u vlejë sadopak profesionistëve të fushës për t'i marrë ato më seriozisht në konsideratë. Analizat e mëtejshme në këtë drejtim do krijonin mundësinë që këto metoda në të ardhmen të përfshihen në kushtet teknike të projektimit në vendin tonë.





## Kapitulli 2

# Stabilizimi i dherave me veti të dobëta

### 2.1 Dherat me veti të dobëta fiziko-mekanike

Dherat që konsiderohen si "të dobëta" takohen shpesh në zona me depozitime detare ose kënetore ku ka përmbajtje të lartë të lëndës organike, apo në zona me depozitime rërore të ngopura me ujë dhe në gjendje të shkrifët, të prirura për të pësuar ulje të konsiderueshme në rast ndërtimi të një objekti inxhinierik apo të ndjeshme ndaj fenomenit të lëngëzimit në rast tërmetesh. Aspekte të tjera si rezistenca në prerje që ndikon tek aftësia mbajtëse e dherave dhe qëndrueshmëria e shpateve, ujë-përshkueshmëria e dherave, shkalla e konsolidimit, aftësia e bymimit të dherave argjilorë etj., kanë qenë dhe vazhdojnë të jenë fenomene për t'u marrë në konsideratë në varësi të objektit inxhinierik që planifikohet të ndërtohet. Këto formacione ndryshojnë nga madhësia e grimcave, nga përbërja mineralogjike dhe sidomos nga mënyra e reagimit kur ndodhen nën ngarkesë. Në këtë grup, sipas [Sivakumar, 2012], mund të përmenden:

- **Dhera me tendencën për t'u shembur:** të cilat shemben kur ndodhen nën veprimin e ngarkesave. Arsytet për humbjen e rezistencës janë të ndryshme, si për shembull humbja e "strukturës kapilare". Kjo nënkupton se në dherat jo tërësisht të ngopur me ujë, prania edhe e ajrit bën që në pore të krijohet një presion negativ i cili i tërheq grimcat drejt njëra-tjetrës. Kur në dhera shtohet sasia e ujit për qëllime kompaktësimi apo për shkak të reshjeve, struktura kapilare shkatërrohet dhe shoqërohet me shembjen e dheut. Raste tipike vërehen nëpër diga me mbushje dheu gjatë sezonit të verës kur niveli i ujit bie duke larguar nga poret edhe strukturën kapilare përmes dukurisë së sufozionit mekanik

apo edhe kimik. Shembja tek këto dhera mund të ndodhë gjithashtu për shkak të humbjes së efektit çimentues nëse ngarkesa e ushtruar e tejkalon rezistencën e lëndës çimentuese, si dhe në dherat rërorë (pa kohezion) me shkallë të lartë ngjeshmërie.

- **Dherat me aftësi bymimi:** këtu futen kryesisht dherat me përmbajtje minerale argjilore. Montmoriloniti ndër to ka aftësinë më të madhe të bymimit dhe kur ky lloj dheu vjen në kontakt me ujin e rrit lagështinë duke shkaktuar zgjerim të vëllimit. Kjo shkaktton rritjen e presioneve të bymimit që mund të arrijnë vlerat 100-200 kPa. Kur mbi këto dhera ndërtohen godina të vogla (që ushtrojnë ngarkesë më të vogël sesa presioni i bymimit) atëherë ato rrezikojnë të dëmtohen rëndë. Në kushtet e largimit të ujit nga poret, këto dhera arrijnë vëllimin e tyre minimal (kufirin e tkurrjes) duke shkaktuar çarje në strukturën e dheut e duke e zvogëluar ndjeshëm rezistencën e tij. Trajtimi i këtyre dherave me gëlqere jep efekte mjaft të kënaqshme, siç do trajtohet me detaje në kapitullin pasardhës.
- **Dherat me ndjeshmëri të lartë:** këto janë dhera të cilat kanë rezistencë të lartë në shtypje kur ruajnë strukturën e tyre të paprishur, por që në momentin kur struktura e tyre prishet si pasojë e rimodelimit në laborator, ngarkesave ciklike të tërmetit apo faktorëve të tjerë, rezistenca bie në mënyrë drastike. Në kontakt me ujin ato sillen si në gjendje të rrjedhshme. Për ta shprehur këtë faktor përdoret koeficienti i ndjeshmërisë së dheut, i cili jepet si:

$$\text{Koeficienti i ndjeshmërisë} = \frac{\text{rezistenca me strukturë të paprishur}}{\text{rezistenca pas ristrukturimit}} \quad (2.1)$$

Ky koeficient nxirret nga provat laboratorike të rezistencës në shtypjen njëboshtore, sipas [Terzaghi, 1944]. Vlerat e koeficientit të ndjeshmërisë së dherave luhaten në varësi të autorëve të ndryshëm. [Skempton, 1953] sugjeron vlerat nga 1 deri në >16. Dherat me koeficient të lartë karakterizohen nga aftësi mbajtëse dhe rezistencë në prerje shumë të ulët (pas prishjes së strukturës) dhe shoqërohen shpesh me ulje.

- **Dhera me aftësi lëngëzimi:** rërat në gjendje të ngopur me ujë në kushte pa drenim dhe me densitet relativ të ulët, nën ndikimin e goditjes së një tërmeti të një magnitude 7-8-9 ballësh, për një kohëzgjatje

të caktuar, e humbasin tërësisht aftësinë mbajtëse të skeletit të grimcave për shkak se sforcimet efektive mes grimcave bëhen zero ( $\sigma'=0$ ). Në fenomenin e lëngëzimit është tipike zhytja e objekteve inxhinierike nën sipërfaqe, ku në disa raste nuk shkaktohen dëme serioze në strukturën e objektit, por qartazi objekti e humbet tërësisht funksionin e tij inxhinierik.

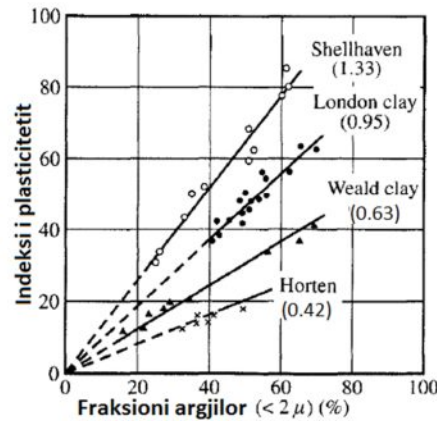
- **Dherat organike:** përmbajnë sasi të mëdha të lëndës organike, si për shembull torfës. Takohen pranë zonave bregdetare dhe përgjithësisht përmbajnë sasi të mëdha të ujit në pore. Ato e kanë parametrin e peshës vëllimore të skeletit të vogël dhe kanë porozitet të lartë dhe rezistencë të ulët. Në këto dhera takohen shpesh konsolidimet terciare për shkak të zhdukjes së elementit organik. Rekomandohet trajtimi me çimento, pasi gëlqerja nuk ka efekt në stabilizimin e tyre, për arsye që do trajtohen në detaje në kapitullin në vijim.

Prania e mineraleve argjilore në dherat kokërrimët luan një rol të veçantë në sjelljen plastike që shfaqin këto të fundit. Kjo për shkak se kufiri i plasticitetit dhe i rrjedhshmërisë së dherave lidhet me aftësinë e grimcave për të formuar një cipë uji rreth vetes. Shkencëtari anglez Alek Skempton në vitin 1953 përcaktoi marrëdhënien lineare mes përqindjes së fraksionit argjilor të grimcave ( $<2\mu\text{m}$ ), të pranishme në dherat kokërrimët, dhe treguesit (indeksit) të plasticitetit PI. Kjo marrëdhënie tregohet në Figurën 2.1, ku për dhera argjilore të ndryshme tregohet se si rritet vlera e treguesit të plasticitetit me rritjen e përqindjes së fraksionit koloidal. Dallimi mes pjerrësisë së kurbave për argjilat në këtë rast varet pikërisht nga prania e mineraleve argjilore në këto dhera. Kjo pjerrësi shprehet nga raporti i mëposhtëm:

$$A = \frac{PI}{\% \text{ e grimcave koloidale}} \quad (2.2)$$

ku parametri A u emërtua me termin *Aktiviteti* i argjilave nga Skemptoni ([Skempton, 1953]).

Aktiviteti është një parametër i cili shpreh tendencën e argjilave për t'u bymyer. Kështu, për vlera më të mëdha se 1.25 të Aktivitetit, argjilat konsiderohen si të llojit që është lehtësisht i bymyeshëm, ose "aktivë"; 1.25 - 0.75 si dhera me aktivitet normal, dhe me Aktivitet  $<0.75$  si inaktivë. Skempton-i i karakterizon këto argjila, për grupin e parë (aktive), si depozitime që kanë një sasi të konsiderueshme grimcash koloidale me përmbajtje organike dhe me mineral argjilor kryesor montmorilonitin; për grupin me aktivitet normal si depozitime detare të argjilave në të cilat mbizotëron iliti; dhe në grupin e



**Figura 2.1:** Aktiviteti (vlerat në kllapa) sipas [Skempton, 1953](përshtatur)

argjilave inaktive hyjnë argjilat e formuara nga shkatërrimi i zakonshëm dhe të depozituara në basene ujore ([Skempton, 1953]).

Në Tabelën 2.1 tregohet ndikimi i llojeve të ndryshme të mineraleve argjilore te parametri i Aktivitetit të argjilave. Kështu, kaoliniti ka më pak aftësi bymimi sesa montmoriloniti. Fakti që ekziston një diferencë relativisht e madhe mes kufirit të rrjedhshmërisë dhe kufirit të plasticitetit (çka pasqyrohet te vlera e treguesit të plasticitetit) për argjila me përmbajtje të lartë montmoriloniti, dëshmon se ndryshimi i vlerës së lagështisë natyrore brenda intervalit të fazës plastike të dheut do shoqërohet me zgjerim dhe tkurrje të vëllimit. Për rrjedhojë, vlerat e parametrin të Aktivitetit janë më të larta (1.5-7.0) sesa për kaolinitin dhe ilitin. Përgjithësisht argjilat me prejardhje nga hiri vullkanik (p.sh. bentoniti) kanë Aktivitet të lartë.

| Minerali             | LL      | PL     | SL     | PI     | A       |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|---------|
| <b>Kaolinit</b>      | 35-100  | 20-40  | 25-29  | 15-60  | 0.3-0.5 |
| <b>Ilit</b>          | 60-120  | 35-60  | 15-17  | 25-60  | 0.5-1.2 |
| <b>Montmorilonit</b> | 100-900 | 50-100 | 8.5-15 | 50-100 | 1.5-7.0 |

**Tabela 2.1:** Kufijtë e Aterberg-ut në raport me Aktivitetin ([Skempton, 1953], marrë nga [Das, 1994])

## 2.2 Zbatueshmëria e teknikave të përmirësimit

Teknikat e përmirësimit të dherave në aspektin e përgjithshëm sjellin disa efekte pozitive sa i përket parametrave të dherave të trajtuar me to. Këtu mund të përmendet rritja e rezistencës në prerje dhe e aftësisë mbajtëse, zvogëlimi i ujë-përshkueshmërisë, zvogëlimi i shkallës së ngjeshmërisë (ose rritja e kompaktësisë) dhe stabilizimi kundër luhatjeve të vëllimit, rritja e modulit të elasticitetit etj. Zgjedhja mbi teknikën e përmirësimit që do të përdoret në çdo rast varet nga një sërë faktorësh, si për shembull:

- Lloji i dheut dhe parametri që kërkohet të përmirësohet.* Për shembull, tek dherat argjilore tentohet të zvogëlohen efektet e bymimit dhe të rritet rezistenca ndërkohë që për dhera kokërrtrashë (rëra) mund të nevojitet zvogëlimi i ujë-përshkueshmërisë.
- Kohëzgjatja e efektit stabilizues që kërkohet.* Disa projekte kërkojnë vetëm modifikime të përkohshme të terrenit të ndërtimit për shfrytëzimin maksimal të tij ndërkohë që projekte të tjera kërkojnë stabilizimin afatgjatë të dherave mbi të cilat do ndërtohet.
- Kushtet gjeologjike.* Për shembull zhvillimi i karstit dhe çashmëria e shkëmbinjve.
- Roli i presionit të ujit të poreve.* Nëse dherat e ruajnë ujin në pore atëherë presioni i ujit rritet duke shkaktuar deformime, ndërkohë që nëse dherat kanë drenim të mirë atëherë këto presione janë minimale. Megjithatë, në rastet kur filtrimi është i madh mund të ndodhë dukuria e sufozionit mekanik (bashkë me ujin largohen grimcat e dheut).
- Kostoja e projektit.* Në analizë të fundit duhet marrë në konsideratë kostoja e përdorimit të këtyre teknikave. Këto varen nga përmasat e projektit, kostot e transportit dhe përdorimit të makinerive, kohëzgjatjes së projektit etj.

Teknikat e përmirësimit të dherave mund të ndahen në tre grupe në varësi të efekteve që shkaktojnë në dhera: a) përforsim, b) përmirësim dhe c) trajtim, siç tregohet në Tabelën 2.2, dhe në katër kategori sa i përket tjetërsimit që sjellin në dhera ([Sivakumar, 2012]), si më poshtë:

- *Modifikimi/stabilizimi mekanik:* stabilizimi arrihet përmes tjetërsimit të vetive fizike dhe gjendjes së dherave nëpërmjet metodave të kompaktësisë ose vibrimit. Në laborator kryhet prova me aparatën Proctor e cila përcakton dendësinë maksimale dhe lagështinë optimale në të cilën

| Përforcimi i dherave                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Përmirësimi i vetive                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Trajtimi me agjentë stabilizues                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Kolonat me gurë:</u> përdoren në dhera të butë; të ngjashme me pilotat por përdorin matricën e agregateve.</p> <p><u>Ankorimet në dhera:</u> në dherat që kanë tendencë për të rrëshqitur.</p> <p><u>Mikropilotat:</u> më të thjeshta për t'u instaluar se pilotat e zakonshme.</p> <p><u>Injektim i çimentos:</u> për përforcimin e strukturës së dheut.</p> <p><u>Ankorat në dhera:</u> për të mënjeluar shembjet.</p> <p><u>Gjeosintetikët:</u> kanë aplikim të gjerë.</p> <p><u>Kolonat e gëlqeres /çimentos:</u> për dherat me tendencë bymimi</p> <p><u>Stabilizim bioteknik:</u> mbjellja e pemëve etj.</p> | <p><u>Kompaktësimi në cektësi:</u> përftimi i dendësisë maksimale për kushte të lagështisë optimale.</p> <p><u>Drenimi/mbingarkesa:</u> drenimi i ujit rrit rezistencën në prerje. Drenimi mund të ndodhë nëpërmjet veprimit të një mbingarkese.</p> <p><u>Elektro-osmoza:</u> për largimin e ujit nga grimcat e argjilës të ngarkuara negativisht.</p> <p><u>Shpërthimet:</u> për ripozicionimin e grimcave çka zvogëlon mundësinë e lëngëzimit.</p> <p><u>Kompaktësim dinamik:</u> për kompaktësim në thellësi. Çekiçi lëshohet nga një lartësi 10-15m</p> <p><u>Kompaktësim me injektim çimentoje:</u> për dhera të butë.</p> | <p><u>Përzierje me çimento:</u> dhera organikë, kokërrtrashë, kokërrimët. Stabilizim kimik.</p> <p><u>Përzierje me gëlqere:</u> për dhera kokërrimët me tendencë bymimi. Stabilizim kimik.</p> <p><u>Hiri i qymyrit dhe skorjet metalore:</u> zvogëlojnë kapacitetin e ruajtjes së ujit në pore.</p> |

Tabela 2.2: Ndarja e TPDH në varësi të efekteve që kanë në dhera ([Sivakumar, 2012])

do të kryhet ngjeshja. Kompaktësimi në terren kryhet nëpërmjet rulave të ndryshëm që e rritin dendësinë e dherave, e për pasojë rriten edhe parametrat mekanike. Metoda e kompaktësimit afër sipërfaqes ka ndikim deri në thellësinë 1-1.5 m ndërsa metoda e kompaktësimit dinamik arrin thellësinë 10-15 m. Kjo metodë ka zbatueshmëri në dherat pluhurore, rërore dhe zhavorrore duke siguruar stabilitet për një periudhë afatgjatë.

- *Modifikimi/stabilizimi hidraulik:* në dherat me lagështi të lartë, prania e ujit në pore shkakton rënie drastike të rezistencës në prerje. Këto lloj dherash takohen shpesh në zona bregdetare dhe klasifikohen si dhera të butë. Nëpërmjet teknikave të ndryshme, si për shembull aplikimit të mbingarkesave apo drenimit vertikal, mundësohet largimi i ujit nga poret duke shkaktuar konsolidim të përsheptuar. Presioni i konsolidimit është më i lartë sesa presioni që do shkaktojë ndërtimi i objektit inxhinierik. Në këtë mënyrë rezistenca e dherave rritet ndjeshëm. Zbatueshmërinë më të lartë kjo teknikë e ka në dherat rërore dhe zhavorrore.
- *Modifikim/stabilizim me përforcues:* rritja e stabilitetit në këtë rast arrihet nëpërmjet bashkëveprimit mes dheut dhe elementit përforcues, ndërkohë që gjendja dhe parametrat e shtresës së dheut në tërësi nuk ndryshojnë (me përjashtim të zonave pranë ankorave). Elementet përforcuese të përdorura mund të jenë gjeogride, gjeomembrana, ankora etj. roli i të cilave është i ngjashëm me rolin e çelikut në betonin e armuar - pra përgjegjëse për rezistencën në tërheqje (deformim anësor) të shtresës. Kjo metodë gjen zbatueshmëri të gjerë, sidomos tek dherat pa kohezion ku përforcuesi luan rolin e kohezionit.
- *Modifikimi/stabilizimi kimik ose fizik:* këto teknika e ndryshojnë gjendjen e dherave në periudha afatgjata ose afatshkurtra, sipas kërkesave të projektit. Stabilizimi arrihet në saje të lëndës çimentuese të formuar nga reaksioni mes agjentëve të ndryshëm stabilizues (çimento, gëlqere etj), ujit të pranishëm në pore dhe materialit pucolanik të dherave. Materiale të tipit skorje metalore apo hi vullkanik shkaktojnë një modifikim mekanik (fizik) në parametrat e dherave që lidhen me kufijtë e Atterberg-ut. Zbatueshmëria e këtyre teknikave të përzierjes së dherave me agjentë stabilizues është e gjerë dhe përfshin dherat argjilore me tendencë bymimi, dherat organike si dhe një pjesë të dherave kokërrtrashë.

| <i>Lloji i dheut</i>            | <i>Kompaktësimi</i> | <i>Dehidratimi</i> | <i>Përforcimi</i> | <i>Përzierja</i> |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| Dhera organikë                  |                     |                    |                   |                  |
| Dhera vulkanogjenë argjilorë    |                     |                    |                   |                  |
| Argjila me plasticitet të lartë |                     |                    |                   |                  |
| Argjila me plasticitet të ulët  |                     |                    |                   |                  |
| Dhera pluhurorë                 |                     |                    |                   |                  |
| Dhera rërorë                    |                     |                    |                   |                  |
| Dhera zhavorrorë                |                     |                    |                   |                  |

Tabela 2.3: Kufijtë e Aterberg-ut kundrejt Aktivitetit ([Sivakumar, 2012])

Në Tabelën 2.3, me ngjyrë të blertë tregohen dherat për të cilat teknika e caktuar gjen zbatueshmëri dhe me të kuqe dherat ku nuk përdoret. Siç vihet re, teknika e kompaktësimit nuk luan ndonjë rol të rëndësishëm për dherat kokërrimët, shkalla e kompaktësimit të të cilave është përgjithësisht e vogël. Nga ana tjetër, dehidratimi në rëra dhe zhavorre nuk gjen zbatueshmëri për shkak të koeficientit të lartë të filtrimit në këto dhera. Teknika e përzierjes me agjentë stabilizues për të formuar lëndë çimentuese, afërmendsh që nuk mund të zbatohet në zhavorre për shkak të madhësisë së grimcave, sjellja mekanike e të cilave nuk ndikohet nga produktet e çimentimit. Përdorimi i çimentos gjen zbatim edhe tek dherat rërore, ndërkohë që gëlqerja përdoret vetëm për dherat kokërrimët. Në përgjithësi vihet se se teknikat e përforcimit dhe të përzierjes me agjentë stabilizues gjejnë zbatueshmëri për një gamë më të gjerë dherash.



## 2.3 Stabilizimi i dherave me agjentë kimikë

### 2.3.1 Agjentët kimikë që përdoren në stabilizim

Në terminologjinë e përdorur në lëmin e trajtimit të dherave me agjentë kimikë, termi *modifikim* i referohet përmirësimit të karakteristikave të përpunueshmërisë (aftësisë për t'u përpunuar) dhe të kompaktësimit të dherave, ndërsa termi *stabilizim* nënkupton përmirësimin e sjelljes mekanike të dherave të trajtuar me këta agjentë ([Muhunthan & Sariosseiri, 2008]). Përgjithësisht termi i parë lidhet me përmirësimin afatshkurtër të dherave ndërsa i dyti me atë afatgjatë. Efektet e përmirësimit mund të jenë modifikimi afatshkurtër i truallit ku synohet shfrytëzimi i përkohshëm, kryesisht si bazament për lëvizjen e sigurt të makinerive të rënda, ose stabilizimi afatgjatë që përmirëson parametrat sipas kriterëve të projektit të veprës inxhinierike. Efektet e trajtimit të dherave me agjentë kimikë mund të ndahen në tre kategori, sipas [Das, 1990]: a) modifikimi i përkohshëm i tyre, b) stabilizim që bën të mundur përshpejtimin e procesit të ndërtimit dhe c) rritja e rezistencës dhe qëndrueshmërisë së dherave.

Ndër materialet më të përdorura si agjentë stabilizues janë çimentoja, gëlqerja, hiri i qymyrit i përfutur si produkt dytësor nga impiantet energjitike, skoriet e furnaltave metalore, hiri i prodhuar në furrat e çimentos, zgjyra me përmbajtje silicore nga industria e prodhimit të silikonit dhe ferro-silikonit etj. si dhe kombinimet e tyre. Ndërkohë që çimentoja dhe gëlqerja janë produkte të fabrikuara, agjentët e tjerë krijohen si mbetje nga procese të ndryshme tjetërsimi dhe për pasojë takohen në lloje dhe varietete të ndryshme.

Produktet e reaksionit të agjentëve të mësipërm në proceset e stabilizimit kanë karakteristika të ngjashme, por faktorët që ndikojnë në nxitjen e reaksioneve janë të ndryshëm dhe për pasojë i tillë është edhe efikasiteti i përdorimit të tyre në dhera të ndryshme. Që këndej lind nevoja e studimit të reaksioneve që shkaktohen nga përzierja e dherave me këta agjentë. Agjentët kimikë mund të grupohen në varësi të reaksioneve ku marrin pjesë si:

- a. agjentë hidraulikë parësorë, të cilët hyjnë në reaksion të drejtpërdrejtë me ujin, siç është çimentoja;
- b. agjentë pucolanikë që formohen nga reaksioni i hidroksidit të kalciumit me materialet pucolanike që ndodhen në dhera, si për shembull gëlqerja;
- c. agjentë dytësorë hidraulikë e pucolanikë të cilët mund të hyjnë në reaksion vetëm nëse ekziston një burim i jashtëm oksidi kalciumi që e nxit reaksionin. Këtu përfshihen materialet pucolanike si hiri qymyror apo zgjyra silicore të

cilat nuk përmbajnë oksid kalciumi, por që mund të përdoren në përzierje gëlqeroro-çimentore nga mund të furnizohen me CaO.

Produktet e reaksioneve të agjentëve të sipërpërmendur me ujin dhe me njëri-tjetrin, janë të ngjashëm në karakteristika dhe përbëhen kryesisht nga komponime kalciumi dhe silici me përmbajtje më të vogël hekuri dhe alumini, siç do përshkruhet më gjerësisht në vijim.

Termi *material pucolanik* vjen nga emri i qytezës së Pozzuoli-t, në Gjirin e Napolit në Itali, ku romakët zbuluan një lloj hiri vullkanik nga Mali i Vezuvit me përmbajtje silicore të cilin e përziën me gëlqere për të përfutur një agjent stabilizues hidraulik të përdorur në ndërtim, edhe pse forma të caktuara të materialeve pucolanike ishin përdorur edhe më parë nga Grekët që prej 500-400 p.e.s. ([Wikipedia]). Përkufizimi i materialeve pucolanike sipas [ASTM C595-03] është si më poshtë: *"një material silicor ose silico-aluminor, i cili në vetvete përmban pak ose aspak veti çimentuese, por i cili në formë të imët kokrrizore dhe në prani të lagështisë, reagon sipas një reaksioni kimik me hidroksidin e kalciumit në kushte normale të temperaturës për të formuar komponime me veti çimentuese."* Minerale të argjilore, pjesë e silikateve shtresore si kaolina, montmoriloniti, iliti dhe mikat kanë veti pucolanike.

| Agjenti                               | Reaksioni         | Bashkëvepruesi                                        | Koha |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|------|
| Çimento                               | Hidraulik         | Ujë                                                   | Ditë |
| Gëlqere                               | Pucolanik         | Ujë + dhë pucolanik ose material pucolanik            | Muaj |
| Skorie kokrrizore furnaltash metalore | Hidraulik dytësor | Ujë + $\text{Ca(OH)}_2$ nga p.sh. çimento ose gëlqere | Javë |
| Hi qymyror dhe zgjyrë silicore        | Pucolanik         | Ujë + $\text{Ca(OH)}_2$ nga p.sh. çimento ose gëlqere | Muaj |

**Tabela 2.4:** Reaksionet e agjentëve hidraulikë dhe pucolanikë ([Janz & Johansson, (2002)])

Reaksionet pucolanike përbëjnë një mekanizëm të dytë përgjegjës për stabilizimin afatgjatë përmes kombinimit të hidroksidit të kalciumit me aluminate e silikate të pranishme në argjila dhe në hirin qymyror. Ky proces fillon rreth 28 ditë pas përzierjes me çimento dhe vazhdon për më se një vit.

Mekanizmat e stabilizimit të dherave me agjentë kimikë janë katër:

- Hidratimi (ose reaksioni hidraulik parësor)
- Reaksionet pucolanike
- Shkëmbimi i kationeve
- Ristrukturimi i grimcave (flokulim/aglomerim)

Në dherat në të cilët përdorët çimentoja si agjent kimik, të katërt mekanizmat e sipërpërmendur luajnë rol në stabilizim, por procesi i hidratimit është karakteristik vetëm për çimenton. Veprimi i çimentos me ujin shkakton formimin e një produkti xhelatinoz i cili bashkon grimcat duke ndikuar në rritjen e menjëhershme të rezistencës. Për shkak të pranisë së oksideve të ndryshme që e përbëjnë çimenton si  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mund të thuhet se procesi i reaksionit të hidratimit të çimentos nuk varet nga përbërja mineralogjike e dherave, por vetëm nga prania e ujit ([Makusa, 2012]). Përdorimi i çimentos në projekte të ndryshme ka bërë të mundur përmirësimin dhe shfrytëzimin e dherave me përmbajtje të lartë të lëndës organike dhe me kufij të lartë të lagështisë ([Janz & Johansson, (2002)]). Dherat e stabilizuara me çimento ndahen në dy kategori: *në dhera të çimentuar* dhe *dhera të modifikuara me çimento*. Në rastin e parë bëhet fjalë për përzierje të dherave me sasi të caktuara çimentoje dhe të ngjeshura për të përftuar dendësi të lartë (vlerë të lartë të parametrut të peshës vëllimore të skeletit). Këto lloj dherash kanë fortësi e konsistencë të mjaftueshme për t'u përdorur si bazamente rigjide mbi të cilat ndërtohet vepra inxhinierike. Ato gjithashtu gjejnë përdorim të gjerë si nënshtresa bazamenti nëpër rrugët automobilistike. Në rastin e dytë të dherave të modifikuara me çimento, bëhet fjalë për përzierjen e një sasive relativisht të vogël të çimentos me qëllim ndryshimin e vetive fizike apo karakteristikave specifike të dherave, si përshkueshmëria etj. Përgjithësisht, përzierja e dherave me çimento në masën 3-5 përqind ka ndikim të konsiderueshëm në përmirësimin e karakteristikave sa i përket aftësisë mbajtëse të trojeve (të shprehura në vlera të CBR), rezistencës, konsistencës e fortësisë, zvogëlimit të ngjeshmërisë, rritjes së qëndrueshmërisë, zvogëlimit të ujë-përshkueshmërisë, zvogëlimit të treguesit të plasticitetit, stabilizimit të luhatjeve të vëllimit (potencial bymimi/tkurrijeje) etj. ([PCA, 2008])

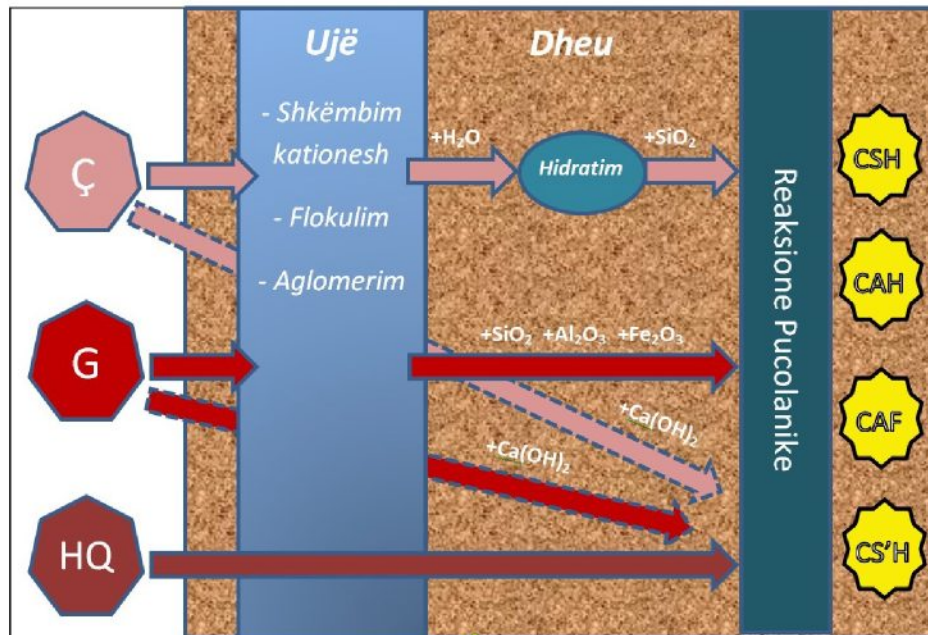
Nga ana tjetër, efekti i menjëhershëm i bashkëveprimit të gëlqeres me ujin nuk është i drejtpërdrejtë në rritjen e rezistencës por vetëm i tërthortë nëpërmjet zvogëlimit drastik të sasisë së ujit të poreve. Kjo vjen si pasojë e mungesës në përbërjen e gëlqeres të  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  në sasi të konsiderueshme, siç do shpjegohet më në detaje në nënkapitujt në vijim. Një efekt

tepër i rëndësishëm i reaksionit të gëlqeres me ujin është se prodhohet hidroksid kalciumi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  në sasi të konsiderueshme i cili mund të bashkëveprojë me materialet pucolanike të dheut në një reaksion dytësor të ngadaltë e të shtrirë në kohë, por me efekte të përhershme në përmirësimin e parametrave të rezistencës. Stabiliteti afatgjatë i dherave të trajtuara me gëlqere varet posaçërisht nga prania në to e materialeve pucolanike. Kur këto mungojnë, gëlqeres mund t'i shtohen agjentë dytësorë pucolanikë si ato të përmendura më sipër. Ndërkohë që efekti i kundërt mund të shkaktohet në rastet kur dheut me karakteristika pucolanike i shtohen agjentë dytësorë të cilët konsumojnë hidroksidin e kalciumit (përmes reaksionit) duke përfutur një stabilitet më të vogël nga çfarë pritej.

Reaksioni i gëlqeres me ujin konsumon një sasi të konsiderueshme uji edhe për shkak se ai është një reaksion ekzotermik dhe energjia e çliruar shkakton avullimin e një pjese të ujit duke i sjellë dheut një stabilitet të përkohshëm. Një tjetër faktor që ndikon në përmirësimin e parametrave është procesi i shkëmbimit të kationeve të kalciumit me jonet pozitive të ndodhura në sipërfaqen e mineraleve argjilore. Ky proces shoqërohet me dukurinë e *flokulimit* ose të ripozicionimit të grimcave të argjilës duke zvogëluar potencialin e bymimit dhe tkurrjes së tyre.

Në Figurën 2.2 tregohen në mënyrë skematike reaksionet e tre agjentëve kimikë të marrë në analizë - çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror - për të përfutur produktet e reaksionit që sjellin përmirësimin e vetive të dherave. Më në detaje, të gjitha reaksionet, proceset dhe produktet e reaksioneve do trajtohen në nënkapitujt në vijim. Siç tregohet në figurë, çimentoja hyn menjëherë në reaksion me ujin e pranishëm në pore nëpërmjet hidratimit, ku komponimet kimike të oksidit të kalciumit dhe oksideve të tjera të pranishme te çimentoja reagojnë shpejt me ujin për të dhënë qëndrueshmëri të menjëhershme. Një rol dytësor, jo vetëm në rastin e çimentos por edhe të gëlqeres dhe hirit qymyror, luajnë edhe proceset e ripozicionimit të grimcave - të njohura si flokulim dhe aglomerim - si dhe ato të shkëmbimit të kationeve në tretësirën ujore. Prania e hidroksidit të kalciumit të formuar nga reaksioni me ujin mund të bëjë që ai të hyjë në reaksion me oksidet e tjera të pranishme te dherat, në ato që njihen si rekasionet pucolanike, të cilat shtrihen në kohë dhe formojnë produkte reaksioni të njëjta me ato të procesit të hidratimit. Në rastin e gëlqeres, dallimin e bën mungesa e komponimeve kimike të oksidit të kalciumit me okside të tjera (që mungojnë), duke bërë që efekti i përzierjes së dherave me gëlqere të vijë kryesisht nga reaksionet pucolanike të hidroksidit të kalciumit me silikate, aluminate etj. të pranishme te dherat. Rrjedhimisht qëndrueshmëria e dherave të përzier me gëlqere shtrihet në kohë dhe është afatgjatë. E njëjta gjë mund të thuhet edhe në rastin e hirit qymyror, por në

këtë rast në mungesë të hidroksidit të kalciumit nevojitet një burim i jashtëm - si çimentoja ose gëlqerja. Pra hiri qymyror nuk mund të hyjë i vetëm në reaksion pa praninë e njërit prej dy agjentëve të tjerë. Me shigjetat me vijë të ndërprerë tregohet ky kontribut në skemën e mësipërme.



**Figura 2.2:** Paraqitje skematike e reaksioneve stabilizuese të çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror me dherat

Aftësia e çimentos, agjentëve dytësorë hidraulikë dhe materialeve pucolanike për t'u futur në reaksion varet nga raporti i oksidit të kalciumit me dyoksidin e silicit,  $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ . Sa më i madh ky raport, aq më shumë aftësi hidraulike ka materiali ([Janz & Johansson, (2002)]). Nga pikëpamja sasiore (si përqindje e peshës) ky raport shprehet nëpërmjet modulit hidraulik të përcaktuar nga [Kamon & Nontananandh, 1991]:

$$m = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3} \geq 1.7 \quad (2.3)$$

Për gëlqeren hidraulike ky modul ka vlerën 1.7 - 9. Kur  $m > 9$ , gëlqerja është 'ajrore' dhe kur moduli është  $m < 1.7$ , gëlqerja përfaqëson 'roman-çimento'.

Përdorimi i gëlqeres si stabilizues kimik është veçanërisht problematik për dhera me përmbajtje të lartë të lëndës organike ku vihet re mungesa e materialeve pucolanike dhe prania e acidit humik që pengon këto lloj reaksionesh

([Janz & Johansson, (2002)]). Për më tepër, dherat organike në shumë raste kanë përmbajtje të lartë të ujit në pore, si për shembull torfat të cilat mund të kapin vlera të lagështisë natyrore deri në 2000% ([Makusa, 2012]). Prandaj për këto lloj dherash këshillohet përdorimi i përzierjeve të çimentos dhe gëlqeres me agjentë dytësorë hidraulikë dhe pucolanikë.

Përdorimi i agjentëve stabilizues në industrinë e ndërtimit mund të ketë efekte pozitive të konsiderueshme sa i përket kostos së punimeve, fizibilitetit dhe impaktit mjedisor të projektit. Kështu për shembull, në rastet kur kushtet e dherave në sheshet e ndërtimit imponojnë zgjidhje të tilla si gjermimi dhe transportimi i dherave me veti të dobëta apo përdorimi i themeleve të thella (me pilota), alternativa e agjentëve stabilizues që arrijnë përmirësimin e vetive të shtresave problematike sipas kriterëve të kërkuara nga projekti, mund të jetë më ekonomike. Gjithashtu, nga pikëpamja e dëmit mjedisor, përdorimi i agjentëve stabilizues mund të ketë impakt më të vogël sesa alternativa e gjermimit. Megjithatë duhet bërë kujdes me skorjet e ndryshme që mund përmbajnë sasi të konsiderueshme metalesh të rënda apo substancash të rrezikshme, për të mënjeluar përzierjen dhe transportimin e tyre nga ujërat nëntokësore ([Janz & Johansson, (2002)]).

### 2.3.2 Stabilizimi me çimento Portland

Çimentoja është stabilizuesi më i vjetër në përdorim që nga fillimet e zhvillimit të teknikave të përmirësimit të dherave. Zbatueshmërinë më të shpeshtë e gjen në veprat gjeoteknike si dhe në inxhinierinë e transportit. Këtu përfshihen rehabilitimi i shtresave pranë sipërfaqes - siç mund të jenë bazamentet e rrugëve automobilistike apo argjinaturat - si dhe përdorimi në përmirësimin e parametrave për dherat me karakteristika të dobëta (të butë, organike etj.) në thellësi të konsiderueshme (mbi 10 metra) për të cilat projekti inxhinierik parashikon përdorimin e themeleve me pilota.

Siç u përmend edhe më sipër, të katër mekanizmat e stabilizimit të dheut aktivizohen në përzierjet me çimento, ku secila prej tyre shpjegohet në vijim.

#### 2.3.2.1 Stabilizimi përmes hidratimit

Mekanizmi më i rëndësishëm për stabilizimin e dherave i cili është karakteristikë e çimentos, është hidratimi. Çimentoja konsiderohet si agjent stabilizues hidraulik parësor pasi hyn në reaksion në mënyrë të drejtpërdrejtë në kontakt me ujin, sipas procesit të njohur si hidratim i çimentos, për të formuar komponime kimike xhelatinoze që bashkojnë grimcat e dheut dhe ndikojnë në përmirësimin e parametrave të tij. Për të kuptuar se si ndodh ky reaksion duhet analizuar përbërja kimike e çimentos. Në Tabelën 2.5 tregohen disa

vlera tipike të përqindjeve të oksideve të pranishme në përbërjen e çimentos si dhe simbolika përkatëse që përdoret, sipas [Johansson, 1994]:

| Oksidi                         | Përqindja | Simboli |
|--------------------------------|-----------|---------|
| CaO                            | 60-70%    | C       |
| SiO <sub>2</sub>               | 17-25%    | S       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2-8%      | A       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0-6%      | F       |
| MgO                            | 0-6%      | M       |
| SO <sub>3</sub>                | 1-4%      | S'      |
| K <sub>2</sub> O               | 0.2-1.5%  | K       |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.2-1.5%  | N       |
| H <sub>2</sub> O               | 0%        | H       |

**Tabela 2.5:** Përbërja mineralogjike tipike e çimentos dhe simbolet ([Johansson, 1994])

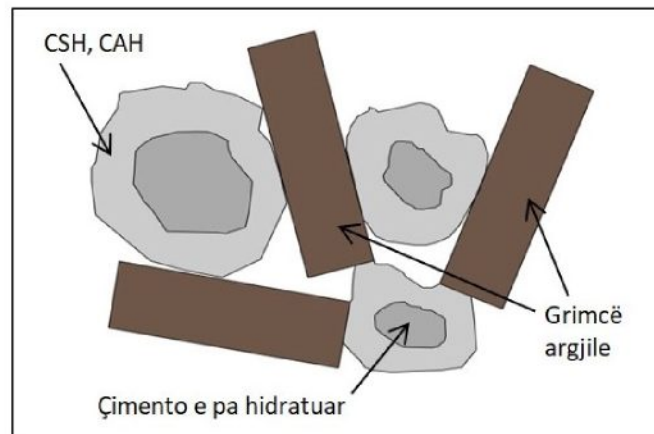
Siç mund të evidentohet, oksidi i kalciumit CaO është përbërësi kryesor i çimentos, por prania në sasi të konsiderueshme e SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dhe Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bën që në reaksionet e hidratimit me ujin të marrin pjesë komponime kimike, emërtimet, formulat kimike dhe simbolet e të cilave jepen në Tabelën 2.6:

| Emërtimi                  | Përbërja kimike                                                     | Simboli           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Silikat trekalcik         | 3CaO-SiO <sub>2</sub>                                               | C <sub>3</sub> S  |
| Silikat dykalcik          | 2CaO-SiO <sub>2</sub>                                               | C <sub>2</sub> S  |
| Aluminat trekalcik        | CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                  | C <sub>3</sub> A  |
| Aluminoferrit tetrakalcik | 4CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> AF |

**Tabela 2.6:** Komponimet kimike të pranishme në çimento ([Janz & Johansson, (2002)])

Komponimet C<sub>3</sub>S dhe C<sub>2</sub>S japin kontributin parësor në rritjen e rezistencës gjatë procesit të hidratimit. Kjo për arsye se këto dy komponime gjatë reaksionit çlirojnë në tretësirë jone kalciumi dhe hidroksidi që shkaktojnë rritjen e pH të tretësirës në mbi 12, për një kohë të shkurtër. Kjo vlerë e lartë e pH është e nevojshme për zhvillimin e reaksionit. Me ndarjen e hidroksidit të kalciumit krijohet një lëndë xhelatinoze prej hidrosilikati të kalciumit (CSH) që "çimenton" grimcat e argjilës. Nga ky proces krijohen aggregate grimcash me diametër më të madh sesa ato fillestare, duke ndryshuar sjelljen plastike të dheut dhe duke rritur qëndrueshmërinë. Temperatura luan një rol të rëndësishëm në zhvillimin e reaksioneve. Në Figurën 2.3 tregohet në mënyrë skematike ndikimi që procesi i hidratimit ka mbi grimcat e dheut:





**Figura 2.3:** Paraqitje skematike e procesit të hidratimit

Komponenti CSH e rrit vëllimin me kalimin e kohës duke krijuar një mburojë që pengon depërtimin e ujit deri tek  $C_3S$  e pa hidratuar ende. Prandaj mund të thuhet se fillimisht reaksioni është i varur nga temperatura, por me kalimin e kohës varësia kalon tek aftësia e shpërndarjes së ujit drejt  $C_3S$ . Këto reaksione shprehen si më poshtë:



Shpejtësia e reaksionit varet nga raporti i  $C_3S$  me  $C_2S$ : hidratimi i  $C_3S$  jep një çimento që ngurtësohet shpejt ndërsa  $C_2S$  jep një çimento që reagon në mënyrë të ngadaltë ([Janz & Johansson, (2002)]). Kontributin kryesor në rritjen e rezistencës pas një kohe të shkurtër e jep komponimi  $C_3S_2H_4$  (CSH). Nga procesi i hidratimit të komponimeve të llojit  $C_3A$  dhe  $C_4AF$  formohen produktet e tipit CASH, CAH, CS'H dhe CAFS'H, të cilat janë të ngjashme në karakteristika me njëra-tjetrën. Në këto komponime mungojnë silikatet, por prania e gjipseve mund të jetë një faktor i jashtëm që nxit reaksionin, duke formuar një lloj minerali sulfatik të njohur si *etringit*  $[Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O]$  i cili ndikon në rritjen e rezistencës duke formuar struktura "përforcuese" në trajtë gjilpërash ([Ahnberg & Johansson, 2005]). Procesi i formimit të etringitit shoqërohet me bymim, çka në disa raste mund të shkaktojë probleme nga zhvillimi i çarjeve në strukturën e materialit.

Procesi i hidratimit zgjat nga 1 deri në 28 ditë, kur supozohet se arrihet fortësia maksimale. Thua se gjysma e sasisë së çimentos reagon brenda 3 orëve,

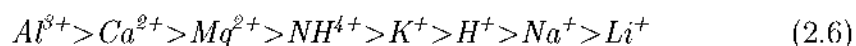


60% pas shtatë ditësh dhe 90% pas tre muajsh ([Janz & Johansson, (2002)]). Ky është një reaksion që çliron afërsisht 450 kJ/kg ([Taylor, 1990]). Reaksioni i hidratimit është relativisht i shpejtë dhe nis nga sipërfaqja e grimcave të çimentos. Për pasojë qendra e grimcave mund të ngelet e pahidratuar ([Sherwood, 1993]), siç ilustron në Figurën 2.3. Ky proces shoqërohet me zgjerimin e vëllimit të lëndës xhelatinoze si pasojë e porozitetit të saj të lartë, duke mbushur kështu hapësirat ndërmjet grimcave të dheut. Kjo ndikon në rritjen e dendësisë dhe të fortësisë, por pa ndryshuar strukturën e dheut. Meqenëse ky reaksion nis vetvetiu në prani të ujit, përdorimi i çimentos krahasuar me stabilizuesit e tjerë të përmendur më sipër gjen zbatueshmëri për një gamë më të gjerë dherash ku mund të përfshihen dherat kokërrtrashë, pluhurore, argjilore dhe organike. Një rast tipik është përmirësimi i karakteristikave të depozitimeve detare me përmbajtje organike (torfa) të cilat kanë prirjen t'i nënshtrohen konsolidimit terciar si pasojë e shpërbërjes së materialit organik.

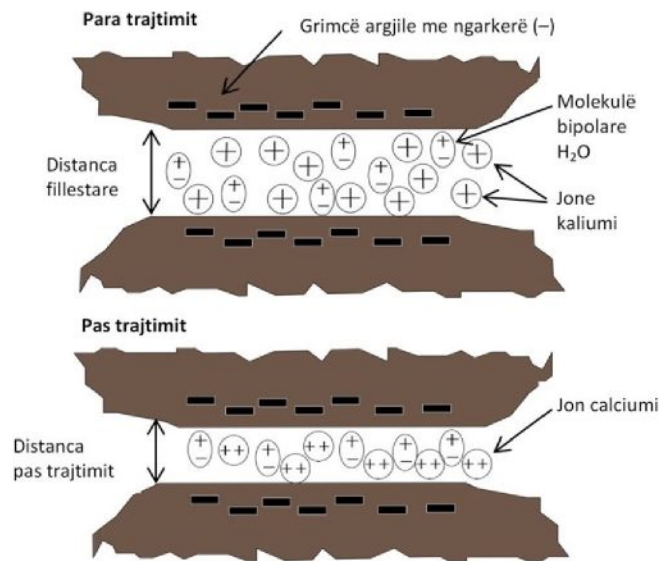
### 2.3.2.2 Stabilizimi përmes shkëmbimit të kationeve

Procesi i shkëmbimit të joneve është ndër faktorët kryesorë që ndikojnë në ndryshimet e karakteristikave të plasticitetit të dherave. Materialet argjilore përbëhen nga kokrriza koloidale me aftësi bymimi të cilat vendosen në trajtë shtresash mbi njëra-tjetrën. Duke qenë se janë të ngarkuara negativisht, ato tërheqin drejt vetes molekulat bipolare të ujit si dhe jone të tjera monovalente të ngarkuara pozitivisht, për shembull jonet e kaliumit, natriumit etj.

Prania e joneve negative e rrit distancën ndërmjet grimcave të argjilës duke rritur kështu vëllimin e përgjithshëm të masës së dheut, siç paraqitet skematikisht në Figurën 2.4. Në prani të agjentëve kimikë të ndryshëm ndodh një shkëmbim jonesh ku kationet monovalente zëvendësohen nga jonet dyvalente të kalciumit. Në përgjithësi mund të thuhet se kjo është një procedurë ku jonet me valencë më të lartë zëvendësojnë jonet me valencë më të ulët.



Pra kationet në të majtë zëvendësojnë ato në të djathtë. Kjo nënkupton se sa më e lartë të jetë valenca e joneve të argjilave, aq më e vogël është aftësia e tyre për të shkëmbyer jone. Procesi gjatë të cilit ndodh shkëmbimi i joneve të kalciumit dhe magneziumit me jonet e kaliumit dhe natriumit, ul në mënyrë të konsiderueshme treguesin e plasticitetit ([Zhang & Cao, 2002]). Ky proces ndodh brenda pak orësh duke e tkurrur vëllimin e argjilës dhe njëkohësisht duke mpakur edhe vetitë e saj plastike. Shkëmbimi i kationeve varet shumë nga vlera e pH-it të ujit në pore. Siç u përmend më lartë, procesi i hidratimit të CaO e rrit ndjeshëm përqendrimin elektrolitik të tretësirës së bashku me pH-in ( $\approx 12.5$ ) duke rritur kështu edhe aftësinë e shkëmbimit të kationeve.



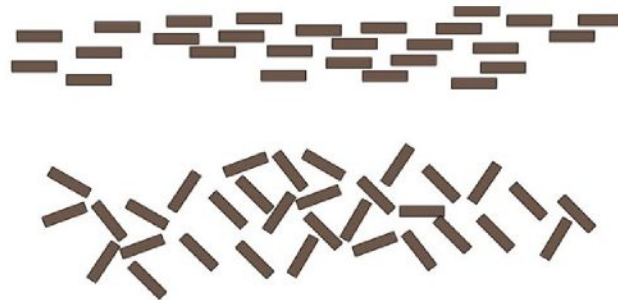
**Figura 2.4:** Paraqitje skematike e efektit të shkëmbimit të kationeve te grimcat e argjilës

Kjo aftësi varet gjithashtu edhe nga mineralet argjilore që e përbëjnë argjilën. Kështu për shembull, montmoriloniti ka aftësinë më të lartë të shkëmbimit të joneve nga gjithë mineralet e tjera ndërkohë që kaoliniti ka aftësinë më të ulët.

### 2.3.2.3 Stabilizimi përmes ristrukturimit të grimcave

Procesi i shkëmbimit të joneve, përveçse ndikon në zvogëlimin e hapësirës mes grimcave të argjilës mund të ndikojë edhe në ripozicionimin e tyre nga një strukturë paralele në një strukturë më "kaotike". Ky formacion i ri, ndryshe nga i pari, nuk shkakton bllokimin e ujit ndërmjet grimcave por mundëson zhvendosjen e lirë të tij. Strukturat horizontale të grimcave mbajnë të izoluar ndërmjet tyre bulëza të ujit të cilat shkaktojnë bymimin e argjilës sipas drejtimit vertikal. Pasi struktura rishpërndahet sipas një formacioni të ri, uji ka mundësi të lëvizë lirisht duke zvogëluar aftësinë e bymimit. Procesi i renditjes së grimcave sipas këtij formacioni të ri njihet me termin *flokulim*. Ashtu si edhe në rastin e shkëmbimit të kationeve, kjo dukuri ndodh pak orë pas përzierjes së argjilës me agjentët kimikë. Në Figurën 2.5 tregohet skematikisht struktura e grimcave të një montmoriloniti para dhe pas flokulimit.

Procesi i flokulimit, njësoj si procesi i shkëmbimit të joneve, ndikohet nga sipërfaqja specifike e grimcave dhe nga përbërja mineralogjike e tyre. Në hapësirën e krijuar mes grimcave nga procesi i flokulimit, mund të depozitohen produktet e reaksion të hidratimit të çimentos, CSH, CAH etj. siç përshkruhet



**Figura 2.5:** Ristrukturimi i grimcave të argjilës pas flokulimit

më sipër, duke krijuar kështu një strukturë grimcash kompakte. Procesi i flokulimit zakonisht ndiqet nga procesi i *aglomerimit*, që është krijimi i lidhjeve të dobëta në kontaktin mes grimcave të argjilës. Këto lidhje formojnë bashkime grimcash duke i dhënë dheut një karakter më kokrrizor dhe duke zvogëluar kështu sjelljen plastike të tij.

Ndryshimi i strukturës së grimcave sjell ndryshimin e karakteristikave të argjilës duke e zvogëluar vlerën e parametrin të treguesit të plasticitetit  $PI$ , e për pasojë edhe aftësinë e bymimit. Për më tepër, si pasojë e aglomerimit rritet vlera e këndit të fërkimit të brendshëm mes grimcave, duke sjellë kështu rritjen e parametrave të qëndrueshmërisë. Proceset e flokulimit dhe aglomerimit mund të thuhet se ndryshojnë edhe granulometrinë dhe teksturën e argjilave.

Si përfundim mund dilet në konkluzionin se proceset e përshkruara më sipër sjellin efektet e mëposhtme në dhera:

- a. *Zvogëlimin e kufirit të rrjedhshmërisë  $LL$*
- b. *Rritjen e kufirit të plasticitetit  $PL$*
- c. *Zvogëlimin i treguesit të plasticitetit  $PI$*
- d. *Rritjen e kufirit të tkurrjes  $SL$*
- e. *Përmirësimin e përpunueshmërisë së dheut*
- f. *Përmirësimin e karakteristikave të rezistencës dhe deformimeve të dheut ([Das, 1990])*

### 2.3.2.4 Stabilizimi përmes reaksioneve pucolanike

Siç shprehet edhe në reaksionet 2.4 dhe 2.5, nga reaksioni i hidratimit të çimentos formohet edhe hidroksidi i kalciumit  $\text{Ca(OH)}_2$ . Ai bashkëvepron me aluminatet dhe silikatet e pranishme në dherat argjilore e pluhurore sipas një reaksioni të dytë pucolanik, i cili formon të njëjtat produkte CHS, CAH etj., si në rastin e hidratimit. Ky është një reaksion më i ngadaltë dhe që shtrihet në kohë me muaj dhe me vite, por me ndikim të konsiderueshëm në rritjen e stabilitetit në terma afatgjatë. Më në detaje, procesi i stabilizimit përmes reaksioneve pucolanike do trajtohet në nënkapitullin 2.3.3 ku analizohet stabilizimi i dherave me anë të gëlqeres.

### 2.3.2.5 Faktorët që ndikojnë në reaksionin me çimento

Duke e marrë për të mirëqenë se është bërë zgjedhja e duhur sa i përket llojit të agjentit stabilizues që do përdoret, një numër faktorësh që ndikojnë në performancë duhet të merren gjithashtu parasysh. Ata mund të ndahen në faktorë sasiore, si për shembull përqindja e çimentos, sasia e ujit në pore, kohëzgjatja e maturimit etj. dhe në faktorë cilësorë si lloji i dheut, prania e mineraleve të ndryshme gjatë hidratimit etj.

- **Lloji i dheut në raport me sasinë e nevojshme të çimentos:** siç u përmend dhe më parë, zgjedhja e agjentit stabilizues të duhur për lloje të ndryshme dherash është e një rëndësie të veçantë. Sasia e çimentos së përdorur varet nga modifikimi që kërkohet t'i bëhet dheut. Për të rritur parametrat e qëndrueshmërisë, sasia e çimentos së përdorur duhet të jetë e mjaftueshme për të krijuar një skelet nëpërmjet të cilit përçohet ngarkesa. Kështu, përdorimi i çimentos si agjent është më i përhapur për dhera rërorë me plasticitet të ulët dhe argjila. Për shkak se çimentoja si agjent kimik shfrytëzon të katërt mekanizmat e stabilizimit që u përmendën më sipër, ai gjen përdorim edhe te dherat kokërrtrashë. Në argjila, nga ana tjetër, çimentoja shërben për të zvogëluar kufirin e rrjedhshmërisë dhe treguesin e plasticitetit dhe për të përmirësuar përpunueshmërinë e tyre. Në disa raste, zvogëlimi i treguesit të plasticitetit nën vlerën 15 shërben si treguesi i sasisë së çimentos që duhet përdorur ([PCA, 2008]). Në literaturë sugjerohet përdorimi i çimentos për argjila me përmbajtje kalciumi me kufi rrjedhshmërie më të vogël se 45-50 dhe tregues plasticiteti më të vogël se 25 ([Das, 1990]). Për argjila me përmbajtje natriumi dhe hidrogjeni, që kanë tendencë bymimi, rekomandohet përdorimi i gëlqeres. Në Tabelën 2.7 jepen sasi të rekomanduara të çimentos për dhera të ndryshëm dhe në Tabelën 2.8

| Lloji i dheut |               | Përqindja e<br>çimentos sipas<br>vëllimit |
|---------------|---------------|-------------------------------------------|
| AASHTO        | USCS          |                                           |
| A-2 dhe A-3   | GP, SP dhe SW | 6-10                                      |
| A-4 dhe A-5   | CL, ML dhe MH | 8-12                                      |
| A-6 dhe A-7   | CL dhe CH     | 10-14                                     |

**Tabela 2.7:** Përqindjet e çimentos në varësi të llojit të dherave të klasifikuara sipas AASHTO dhe USCS ([Mitchell & Freitag, 1959])

jepen vlerat e rezistencës në shtypje për lloje të ndryshme dherash të trajtuara me 10% çimento sipas ([Mitchell & Freitag, 1959]).

Nga tabelat vihet re se dherat argjilore kanë rezistencë në shtypje më të vogël ( $>350 \text{ kN/m}^2$ ) se rërat dhe zhavorret, e për pasojë kanë nevojë për një sasi më të madhe çimentoje për stabilizim (10-14%). Ndërkohë që për dhera argjilore me përmbajtje organike përzierja me 10% çimento nuk ka efekt, për përzierjet e argjilës me rërë dhe pluhur, e njëjta sasi çimentoje jep efekte tepër të kënaqshme (rritje të rezistencës në shtypje nga 280-700 në 1730-3460  $\text{kN/m}^2$ ). Shtimi me 2% i çimentos mund të sjellë uljen e aftësisë së byimit me 11%, teksa 3% çimento mund të zvogëlojë parametrin e PI deri me 62% ([PCA, 2008]).

- **Raporti i ujit në pore me sasinë e çimentos (poroziteti):** për stabilizimin e dherave me kufi të lartë rrjedhshmërie të cilat mbajnë një sasi të konsiderueshme uji në pore, nevojitet një sasi më e madhe çimentoje. Nga ana tjetër, meqenëse uji depërton në poret e lëndës xhelatinoze gjatë reaksionit, sasia e ujit të nevojshëm për një sasi të caktuar çimentoje shpreh porozitetin e lëndës xhelatinoze. Sa më i lartë poroziteti aq më e vogël rezistenca e përfutur.

Ky parametër shprehet nëpërmjet koeficientit të raportit ujë/çimento  $wcr$  i cili është një ndër parametrat kryesorë të vlerësimit të cilësisë së çimentos ([Janz & Johansson, (2002)]).

$$wcr = \frac{W}{C} \quad (2.7)$$

ku  $W$  është sasia e ujit që hyn në reaksion [g] dhe  $C$  është sasia e çimentos [g]. Vlera të larta të parametrin  $wcr$  nënkuptojnë hapësira ndërmjet grimcave, pra porozitet të lartë, që përkthehet në rezistencë të ulët.

|                                                                                  | Materiali                                                                                      | Rezistenca në<br>shtypje<br>kN/m <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Dhera të<br/>patrajtuar<br/>me agjentë<br/>stabilizues</b>                    | Argjilë, torfë                                                                                 | >350                                          |
|                                                                                  | Argjilë rërore (suargjila dhe surëra) e<br>ngjeshur mirë                                       | 70-280                                        |
|                                                                                  | Përzierjeje zhavorrore, rërore dhe<br>argjilore të mirë-kompaktuara                            | 280-700                                       |
| <b>Përzierje e<br/>dheut me<br/>10%<br/>çimento (të<br/>peshës së<br/>dheut)</b> | Argjilë, dhera organikë                                                                        | >350                                          |
|                                                                                  | Pluhura, argjila pluhurore, rëra me qor-<br>tim shumë të keq, dhera pak organikë.              | 350-1050                                      |
|                                                                                  | Argjila pluhurore, argjila rërore, rëra<br>me qortim shumë të keq dhe zhavorre                 | 700-1730                                      |
|                                                                                  | Rëra pluhurore, argjila rërore, rëra dhe<br>zhavorre                                           | 1730-3460                                     |
|                                                                                  | Rërë e mirë-sortuar, përzierje rërë-<br>argjilë ose zhavorr-rërë-argjilë, rërë dhe<br>zhavorre | 3460-10,350                                   |

**Tabela 2.8:** Vlerat tipike të rezistencës në shtypje për dhera të trajtuar me 10% çimento ([Mitchell & Freitag, 1959])

Literatura sugjeron një raport ujë/çimento në vlerat 0.5:5 për dhera me parametra të dobët nën themelet e ndërtesave dhe strukturave të tjera, për të rritur aftësinë mbajtëse të trojeve ([Das, 1990]).

Sasia e ujit në pore është shumë e rëndësishme për reaksionin e hidratimit, sidomos për dhera në të cilat uji është i lidhur me grimcat, si për shembull argjila, torfa, dhera organikë etj. Në këto dhera procesi i hidratimit mund të ngadalësohet për shkak të pamjaftueshmërisë së ujit në pore, çka do të ndikojë negativisht në rezistencën finale. Çimentot plotësisht të hidratuara përthithin deri në 20% të peshës së ujit të ambientit ([Sherwood, 1993]). Trajtimi i dherave me çimento shkakton një ulje të menjëhershme të parametrit të lagështisë çka ndikon në sjelljen e argjilave në mënyrë të brishtë (*brittle*) në aspektin e tendecës për t'u thërrmuar ([Bergado et al., 1996]). Ndërkohë që sasia e ujit është e rëndësishme edhe për shkallën e kompaktësimit të dheut në terren.

- **Shkalla e kompaktësimit:** që dheu të arrijë rezistencën maksimale nevojitet që pas trajtimit me agjentët stabilizues të kompaktësohet deri në vlerën maksimale të parametrin të peshës vëllimore të skeletit (peshës së thatë)  $\delta_{\max}$ . Dherat porozë kanë nevojë për praninë e një sasive më të madhe çimentoje sesa dherat e kompaktësuar e me dendësi të lartë. Përzierja e dherave me çimento shkakton uljen e dendësisë maksimale dhe rritjen e lagështisë optimale në dhera ([Sherwood, 1993]). Dendësia vjen duke u ulur si pasojë e procesit të flokulimit në grimcat e imëta që zënë një hapësirë më të madhe se më parë, ndërkohë lagështia optimale vjen në rritje. Kjo ndodh sepse grimcat e çimentos janë më të imëta se ato të argjilës, për pasojë një rritje e fraksionit të imët shkakton rritjen e sipërfaqes specifike. Kjo do të thotë se një sasi më e madhe uji nevojitet për lubrifikimin e grimcave që do të ngjishen ([Sarkar et al., 2012]).

Për shkak të reagimit të menjëhershëm të ujit me çimenton dhe të nxehtësisë së çliruar gjatë hidratimit, ndodh ngurtësimi i shpejtë i përzierjes. Për pasojë, procesi i kompaktësimit duhet të kryhet sa më shpejt të jetë e mundur. Çdo vonesë në procesin e kompaktësimit mund të kërkojë rritjen e intensitetit të kompaktësimit për të arritur të njëjtin efekt ([Makusa, 2012]). Disa të dhëna tregojnë se humbjet në rezistencën në shtypje variojnë nga 10-20% për një vonesë prej katër ditësh dhe deri në 40% për një vonesë prej 24 orësh ([White & Gnanendran, 2005]). Sipas [Sherwood, 1993], një rol të rëndësishëm në këtë aspekt luajnë përmasat e grimcave të dheut dhe sortimi. Për një rërë të keqsortuar dhe një argjilë pluhurore, secila e trajtuar me 10% çimento, një vonesë prej 6 orësh shkakton një ulje të  $\delta_{\max}$  prej 0.01 g/cm<sup>3</sup> në rastin e parë dhe 0.2 g/cm<sup>3</sup> në të dytin. Pra dherat kokërrimët ndikohen më shumë në këtë aspekt.

Ashtu si për dherat e patrajtuar, edhe për ato të stabilizuar me çimento vërehet rritja e rezistencës me rritjen e shkallës së kompaktësimit. Studimet tregojnë një rritje prej 200 kPa të rezistencës në shtypje për një rritje prej 1% të kompaktësimit relativ ([White & Gnanendran, 2005]). Gjithashtu trajtimi i argjilave të buta me çimento ndryshon sjelljen e tyre nga normalisht të konsoliduara në argjila të mbikonsoliduara ([Bergado et al., 1996]).

Procesi i kompaktësimit të dherave të trajtuara me çimento është i rëndësishëm edhe për një arsye tjetër: për të minimizuar efektin e çarjeve që zhvillohen si pasojë e procesit të hidratimit dhe largimit të ujit. Çarje të përmasave deri në 3 mm çdo 2-12m mund të shfaqen nëpër dhera pas trajtimit me çimento. Nëse ndiqen procedura të sakta të ndërtimit këto çarje mund të mos përbëjnë problem për performancën e dheut, por nëse

zhvillohen edhe më si pasojë e përthithjes së ujit, atëherë mund të ulin ndjeshëm rezistencën.

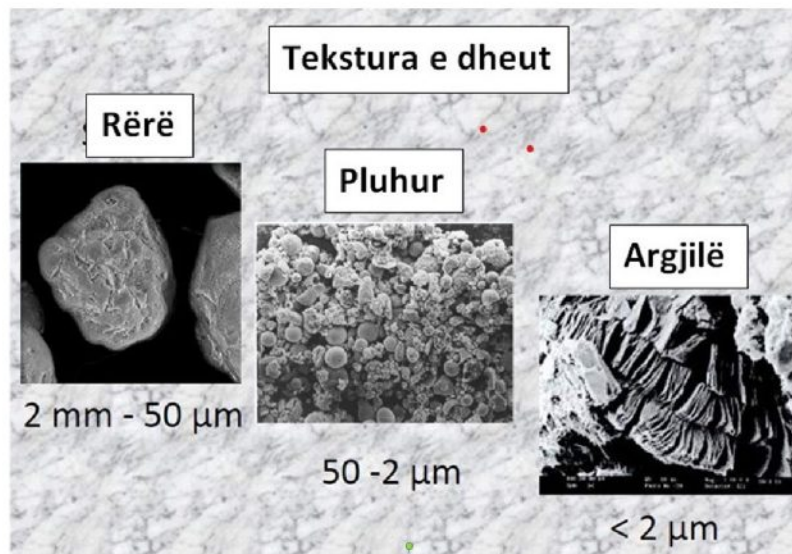
- **Sipërfaqja specifike:** është ndër faktorët kyç që përcaktojnë aftësinë e hyrjes në reaksion të materialeve të ndryshme. Ajo shpreh madhësinë e grimcave ose strukturën kokrrizore të materialit. Kështu, materialet me strukturë amorfë ose qelqore kanë aftësi reaktive më të lartë sesa materialet kristaline (me shkallë të lartë kristalizimi). Sipërfaqja specifike e dherave shpreh sipërfaqen për njësi mase të dheut në  $\text{m}^2/\text{g}$  dhe ndikon drejtpërdrejt në vetitë e dheut si për shembull lëvizshmërinë e ujit në pore, aftësinë e shkëmbimit të kationeve (në reaksionet pucolanike), aftësinë e ndajthithjes (adsorbimit) në pore të mineraleve të rënda dhe pesticideve, aftësinë e bymimit etj. Ndikimi i sipërfaqes specifike vihet re sidomos tek mineralet argjilore, ku për shembull kaoliniti për shkak se ka vetëm sipërfaqe të jashtme, nuk ka aftësi bymimi, ndërkohë që minerale si montmoriloniti që kanë sipërfaqe të brendshme dhe të jashtme, kanë aftësi të madhe bymimi ([Cerato, 2001]).

Vlerësimi i sipërfaqes specifike mundëson shpjegimin e vlerave të kufijve të rrjedhshmërisë dhe treguesit të plasticitetit. Këto vlera janë më të larta për dhera me sipërfaqe specifike të larta dhe lidhen edhe me aftësinë e bymimit, ciklet e ngrirjes-shkrirjes në argjila etj. Nëpërmjet sipërfaqes specifike mund të vlerësohet edhe hapësira ndërmjet grimcave si dhe përbërja e dherave kokërrimët. Sipërfaqja specifike e çimentos së prodhuar në fabrikë (Portland Cement) varion nga  $300 - 550 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

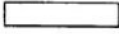
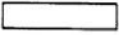
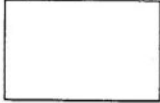
- **Përmbajtja e lëndës organike:** dherat organike shfaqin probleme sa u përket proceseve të stabilizimit. Përdorimi i gëlqeres në këto dhera ka efekte minimale stabilizuese ndërkohë që çimentoja shfaq rezultate më të kënaqshme. Kjo ndodh për disa arsye: acidet humike që ndodhen në sasi të konsiderueshme në këto dhera hyjnë në reaksion me hidroksidin e kalciumit, të formuar nga reaksioni i hidratimit, duke formuar komponime të patretshme. Kjo dukuri pengon zhvillimin e reaksioneve pucolanike ndërmjet  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dhe mineraleve pucolanike të pranishme, që gjithsesi në dherat organike ndodhen në sasi minimale.

Për më tepër acidet humike ndikojnë në uljen e pH-it të tretësirës duke ndikuar në ngadalësimin e reaksionit pucolanik të çimentimit dhe duke ndikuar tek rezistenca finale e përftuar. Një faktor tjetër që ndikon negativisht në procesin e stabilizimit është aftësia e lartë që kanë dherat organike për të shkëmbyer jonet, duke tërhequr kationet e kalciumit të çliruara nga procesi i hidratimit dhe duke penguar kështu formimin e strukturave flokulative të dherave. Pra dy faktorët më të rëndësishëm





**Figura 2.6:** Paraqitje mikrografike e përmasave të a) rërës 2mm-50 $\mu$ m b) pluhurit 50-2 $\mu$ m dhe c) argjilës <2 $\mu$ m ([Setiawan], përshtatur)

| Pamje anësore                                                                                        | Trashësia tipike (nm) | Dimatri tipik (nm) | Sipërfaqja specifike (km <sup>2</sup> /kg) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| <br>Montmorilonit | 3                     | 100-1000           | 0.8                                        |
| <br>Ilit          | 30                    | 10,000             | 0.08                                       |
| <br>Klorit        | 30                    | 10,000             | 0.08                                       |
| <br>Kaolinit      | 50-2000               | 300-4000           | 0.015                                      |

**Figura 2.7:** Përmasat relative, trashësitë dhe sipërfaqet specifike për minerale argjilore ([Yong & Warkentin, 1975], përshtatur)

në stabilizimin e dherave me agjentë kimikë, reaksionet pucolanike dhe flokulimi nga shkëmbimi i kationeve, pengohen seriozisht në dherat organike. Çimentoja nga ana tjetër gjen përdorim më të gjerë në këto dhera duke qenë se efekti i tij stabilizues bazohet kryesisht tek procesi i hidratimit të komponentëve të silikatit të kalciumit dhe aluminatit të kalciumit. Dherat me përmbajtje të lartë organike (torfa) janë depozitime detare, por edhe për depozitime të tjera, në përgjithësi shtresat pranë sipërfaqes kanë përmbajtje të lëndës organike, që arrijnë deri në thellësinë 1.5 m për dhera që kanë drenim të mirë ([Sherwood, 1993]).

- **Koha e trajtimit (maturimit):** lidhet me kohën e nevojshme që i duhet lënë përzierjes së çimentos me dheun për zhvillimin e reaksioneve që sjellin stabilitetin e kërkuar. Siç u përmend edhe më sipër, periudha e maturimit është e rëndësishme në reaksionet e hidratimit dhe ato pucolanike, pasi të parat zgjatin nga 1 deri në 90 ditë, teksa të dytat zgjasin nga disa muaj deri në disa vjet. Rrjedhimisht, periudha e maturimit nga 7 në 28 ditë është ajo që rekomandohet gjerësisht për dherat në përzierje me çimenton. Ndikimi i kohës së maturimit është më i dukshëm tek dherat kokërrtrashë. Në procesin e hidratimit, rol kryesor sa i përket kohës së maturimit, luan prania e ujit në pore që mundëson reaksionin dhe aftësia që ka uji të depërtojë nëpër poret e dheut. Te dherat pucolanikë, procesi i stabilizimit shtrihet në kohë, megjithëse periudha e maturimit është në varësi të pranisë së hidroksidit të kalciumit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Sa më shumë hidroksid kalciumi të ketë aq më gjatë do të vazhdojnë reaksionet pucolanike.
- **Temperatura:** siç u përmend dhe më sipër, proceset e hidratimit të çimentos janë fillimisht të varura nga temperatura e truallit dhe më pas kthehen në varësi të difuzionit të ujit në pore. Temperatura shumë e ulët ndikon në ngadalësimin e reaksionit, megjithëse në vetvete reaksioni i çimentimit është ekzotermik dhe gjeneron nxehtësi e cila e rrit përkohësisht temperaturën e truallit me 5-10°C ([Ahnberg et al., 1995]). Pas përfundimit të reaksionit temperatura e truallit bie në vlerën fillestare. Nga ana tjetër, sipas [Wang & Liu, 2010] hidratimi i çimentos nuk ndodh për temperatura më të larta se 60 gradë celcius. Ndërkohë që reaksionet dytësore pucolanike janë shumë të ndjeshme ndaj temperaturave të ulëta. Për këtë arsye, në rajone të ftohta këshillohet që stabilizimi i dherave të kryhet gjatë sezonit të verës ([Sherwood, 1993]).
- **Shkalla e përzierjes:** shkalla e përzierjes së çimentos me grimcat e dheut ndikon drejtpërsëdrejti tek rezistenca e përftuar. Ajo varet nga mënyra se si grimcat lidhen me njëra-tjetrën nga agjenti stabilizues dhe

se si ky i fundit arrin të depërtojë nëpër hapësira duke u zgjeruar në vëllim dhe duke rritur dendësinë e dheut. Këtë funksion tek çimentoja e luan lënda xhelatinoze CSH e formuar pas hidratimit. Për të siguruar homogjenitetin e nevojshëm të dheut të stabilizuar nevojitet një shkallë e lartë përzierjeje, çka siguron një shpërndarje të njëtrajtshme të çimentos, siç përshkruhet në [PCA, 2008]. Është e një rëndësie të veçantë fakti se e njëjta shkallë përzierjeje duhet të sigurohet edhe në terren, për të cilën ekzistojnë teknika dhe makineri të ndryshme që përshkruhen në detaj në nënkapitullin pasardhës.

- **Proceset ciklike lagie-tharje dhe ngrirje-shkrirje:** ciklet e ngrirje-shkrirjes përbëjnë problem të veçantë për dherat e stabilizuar për shkak çarjeve që zhvillohen si pasojë e sforcimeve që lindin brenda strukturës së dheut. Këto sforcime mund të lindin nga ndryshimi i temperaturës brenda 24 orësh por edhe nga procesi i ngrirjes. Uji i poreve kur kthehet në akull pëson një rritje vëllimi prej 9% ([Janz & Johansson, (2002)]). Nëse në poret ndërmjet grimcave nuk ka mjaftueshëm hapësirë për t'u zgjeruar, atëherë akulli mund të shkaktojë sforcime shtesë. Prandaj dherat që parametrin fizik të lagështisë e kanë të lartë janë më të rrezikuara nga çarjet që formohen si pasojë e ngrirjes. Dherat që ndodhen më pranë sipërfaqes janë më të prekshëm nga ngrirja. Në mënyrë të ngjashme, dherat të cilat kanë tendencën të ndryshojnë vëllimin në kontakt me ujin, si për shembull argjilat e pasura me montmorilonit, ilit etj., janë gjithashtu të rrezikuara në kalimin nga sezonet e thata në ato të rreshjeve. Ndryshimi i vazhdueshëm i vëllimit të dherave që tkurren në sezon të thatë dhe bymehen gjatë sezonit të rreshjeve, bën të mundur zhvillimin e një sistemi çarjesh që avancojnë me kalimin e kohës duke lejuar depërtimin e ujit ndërmjet çarjeve. Trajtimi i dherave me gëlqere dhe hi qymyror, maturimi për 7 ditë dhe kompaktësimi i tyre ka dhënë rezultate të rëndësishme për dherat argjilore me një zvogëlim prej 90% të masës së humbur të dheut pas 12 ciklesh lagie-tharjeje ([Harichane et al., 2010]).

### 2.3.2.6 Efektet e trajtimit të dherave me çimento

Siç u përmend edhe në hyrje, trajtimi i dherave të ndryshëm me çimento si agjent stabilizimi ka efekte pozitive në përmirësimin e parametrave të dherave. Këtu mund të përmendet rritja drastike e rezistencës në shtypje, zvogëlimi i ujëpërshkueshmërisë (porozitetit), rritja e kufirit të plasticitetit duke zvogëluar treguesin e plasticitetit e për pasojë edhe tendencën e dherave argjilore për t'u bymyer, uljen e menjëhershme të lagështisë, si dhe rritjen e lagështisë optimale dhe zvogëlimin e dendësisë maksimale ([Tabatabai, 1997]). Më në detaj efektet

do trajtohen në vijim.

- **Kufijtë e Atterberg-ut:** Siç u përshkrua edhe më sipër, proceset e shkëmbimit të kationeve dhe të flokulimit ndikojnë te kufijtë e Atterbergut duke rritur kufirin e plasticitetit në mënyrë të ndjeshme, çka sjell uljen e treguesit të plasticitetit, i cili është treguesi më i rëndësishëm dhe i gjithëpranuar i tendencës dhe dherave për t'u bymyer ([PCA, 2008]). Sipas [Sarkar et al., 2012], përdorimi i sasive të ndryshme të çimentos nga 5% deri 12.5%, sjell një rritje graduale të kufirit të rrjedhshmërisë nga 46% në 53% teksa kufiri i plasticitetit rritet më shpejt, nga vlera 27% në 37%. Kjo rezulton në një ulje të treguesit të plasticitetit nga 19% në 16%. Gjithashtu, sjellja plastike e dheut ndryshon nga argjilë me plasticitet të ulët (CL) në pluhur me plasticitet të lartë (MH).
- **Rezistenca në shtypjen njëboshtore:** është një prej parametrave që përmirësohet ndjeshëm si pasojë e trajtimit të dherave me çimento. Ky parametër është funksion i llojit të dheut dhe i kohës së maturimit, siç tregohet tek ekuacioni i propozuar nga [Mitchell, 1976]:

$$q_u(t) = q_u(t_0) + k \cdot \log \frac{t}{t_0} \quad (2.8)$$

ku:

- $q_u(t)$ : rezistenca në shtypje pas  $t$  ditësh
- $q_u(t_0)$ : rezistenca në shtypje pas  $t_0$  ditësh
- $k$ : 70C për dhera kokërrtrashë dhe 10C për dhera kokërrimët
- $C$ : sasia e çimentos në përqindje të peshës

[Zhao et al., 2015] gjithashtu propozojnë një formulë të ngjashme për rritjen e rezistencës në shtypjen njëboshtore me kalimin e kohës (në ditë):

$$q_u(t) = 568.4 \cdot t^{0.75} \quad (2.9)$$

Rezultatet e autorëve dëshmojnë se rezistenca shtypje vjen gjithmonë në rritje edhe pas një viti e gjysmë, çka shoqërohet me zvogëlimin e treguesit të porozitetit me një faktor 6 për shkak të zhvillimit të strukturave kristaline brenda poreve të dheut. Megjithatë, një faktor i cili luan një rol të rëndësishëm në rritjen e rezistencës në terma afatgjatë mund të jetë temperatura gjatë periudhës së maturimit, siç tregohet nga [Zhang et al., 2014], teksa ekspozimi i vazhdueshëm ndaj një ambienti gërryes siç mund të jetë uji i detit, shiu acid, rrjedhja e materialeve

të rrezikshme etj. mund të rezultojë shkatërrimtare sa i përket rritjes së rezistencës mes dheut dhe çimentos pas një farë kohe ([Junjie et al., 2016]).

Përmirësimi i vlerave të rezistencës është më i dukshëm tek dherat kokërrtrashë. Kështu, [Muhunthan & Sariosseiri, 2008] për këto dhera vërejnë një rritje deri në 150 herë të rezistencës në shtypjen njëboshtore nga trajtimi me çimento, ndërsa për dherat kokërrimët kjo vlerë shkon në 40 herë. Megjithatë, duhet patur parasysh se shtimi i çimentos në dhera ndikon pozitivisht në stabilizim vetëm nëse poret përmbajnë mjaftueshëm ujë sa të sigurojnë zhvillimin e reaksionit të hidratimit. Nëse uji është i pamjaftueshëm atëherë shtimi i sasisë së çimentos nuk do sjellë asnjë efekt stabilizues në dhera ([Bergado et al., 1996]). Sipas këtij autori, sasia prej 5% çimento nuk sjell një rritje të konsiderueshme të rezistencës në shtypje, pavarësisht kohës së maturimit. Sasia prej 5-25% të çimentos është ajo që shkakton rritjen më të rëndësishme, ku për 25% çimento, dherat e maturuar për 7 ditë pësojnë rritje 11 herë të këtij parametri, teksa ato të maturuara për 24 javë e rritin rezistencën në shtypje me rreth 26 herë. Shtimi i mëtejshëm i sasisë së çimentos në 25-40% duket se nuk ndikon në rritjen e konsiderueshme të rezistencës. Kjo ndodh për arsye se materiali pucolanik i dheut është shteruar dhe nuk zhvillohet më reaksion kimik me ndikim çimentues. Për [Sarkar et al., 2012], trajtimi i dherave me 12% çimento për 28 ditë periudhë maturimi mund të shkaktojë një rritje prej afro 800 kPa të rezistencës në shtypjen njëboshtore.

- **Kohezioni dhe këndi i fërkimit të brendshëm:** një element i rëndësishëm në shqyrtimin e ndikimit që ka çimentoja në rritjen e rezistencës është kohezioni dhe këndi i fërkimit të brendshëm. Studime të ndryshme kanë dalë në konkluzione të ndryshme dhe disa herë kontradiktore në lidhje me efektet që ka çimentoja mbi këto parametra mekanikë të dherave. Disa studime sugjerojnë se këndi i fërkimit të brendshëm ngelet konstant për dhera të stabilizuara me çimento pavarësisht sasisë së përdorur apo kohëzgjatjes së maturimit, ndërkohë që studime të tjera dalin në konkluzionin se këndi pëson rritje të konsiderueshme e cila është në varësi të dy faktorëve (sasi dhe kohë) të përmendur ([Muhunthan & Sariosseiri, 2008]).

Vlerat e sugjeruara nga [Balmer, 1958] për këndin e fërkimit të brendshëm janë  $43.8^\circ$  për dherat kokërrtrashë dhe  $36.1^\circ$  për ato kokërrimët të trajtuara me çimento.

Ndërkohë [Mitchell, 1976] sugjeron marrëdhënien e mëposhtme mes rezistencës në shtypjen njëboshtore dhe kohezionit:

$$c = 7.0 + 0.225 \cdot q_u \quad (2.10)$$

ku:

- $q_u$ : rezistenca në shtypjen njëboshtore
- c: kohezioni efektiv

Sipas [Sarkar et al., 2012], këndi i fërkimit të brendshëm pëson rritje të konsiderueshme kur çimentoja rritet nga 5% në 7.5%, teksa për 12% çimento arrin vlerën 57 gradë. Gjithashtu, vlera e kohezionit pëson rritje nga 25 kPa në 200 kPa për 12% çimento dhe maturim për 28 ditë. Këtu duhet përmendur roli i periudhës së maturimit i cili është i rëndësishëm për kohezionin por jo dhe aq për këndin e fërkimit të brendshëm. Nëse për 7 ditë maturim kohezioni arrinte deri në vlerën 120 kPa (për 12% çimento), këndi i fërkimit të brendshëm arrinte pothuajse të njëjtën vlerë si për 7 edhe për 28 ditë maturimi.

- **Rezistenca në prerje:** Sipas [Ahnberg et al., 1995], nga analiza e ndikimit të çimentos, gëlqeres dhe përzierjes mes tyre, pas 28 ditësh maturimi, vihet re se ndikimin më të madh stabilizuesit e kanë tek pluhurat argjilorë dhe atë më të ulët tek dherat organike. Madje për këto të fundit duket se trajtimi me gëlqere nuk ka asnjë efekt në përmirësimin e këtij parametri. Dherat organike për më tepër janë dhera me porozitet të lartë (kanë mungesë grimcash solide) çka ndikon negativisht në vlerën e rezistencës në prerje. Kombinimi çimento-gëlqere duket se jep rezultatet më pozitive.

Nga ana tjetër, me rritjen e parametrin  $wcr$  i cili shpreh raportin e ujit të pranishëm në pore kundrejt sasisë së çimentos së përdorur për stabilizim, rezistenca në prerje vjen duke u zvogëluar.

Në rritjen e rezistencës në prerje ndikon edhe kohëzgjatja e maturimit. Rezistenca maksimale afatshkurtër për çimenton arrihet pas 28 ditësh, siç u përmend edhe më sipër, por rezistenca vazhdon të rritet edhe për disa muaj në vazhdim, edhe pse hapi i rritjes për njësi kohe zvogëlohet. Ndërkohë për gëlqeren, gradienti i rritjes së qëndrueshmërisë ngelet konstant dhe shtrihet në kohë. Ky dallim mes të dy agjentëve stabilizues vjen për shkak të reaksioneve të ndryshme të përshkruara më sipër. Ndërkohë që tek gëlqerja ndodh vetëm reaksioni pucolanik i cili është reaksion i ngadaltë, tek çimentoja reaksioni i hidratimit jep një rezistencë

të menjëhershme dhe mund të shoqërohet nga një reaksion dytësor pucolanik.

- **Konsolidimi:** për dhera të stabilizuar me çimento shkalla e konsolidimit ulet në mënyrë të konsiderueshme. Sipas [Bergado et al., 1996], në trajtimin me 25% çimento për periudha të ndryshme kohore, koeficienti i konsolidimit  $C_v$  pëson rritje. Siç u përmend edhe më parë, trajtimi i dherave rrit ndjeshëm presionin e para-konsolidimit duke e kaluar dheun nga gjendja normalisht e konsoliduar në gjendje të mbikonsoliduar. Për autorin, presioni i parakonsolidimit për dherat e patrajtuar është rreth 150-200 kPa, ndërsa për dherat e trajtuar kjo vlerë shkon diku tek 500 kPa. Ky raport mund të shëbejë si tregues i cilësisë së përmirësimit që arrijnë dherat me përzierjen me çimento.

### 2.3.3 Stabilizimi me gëlqere

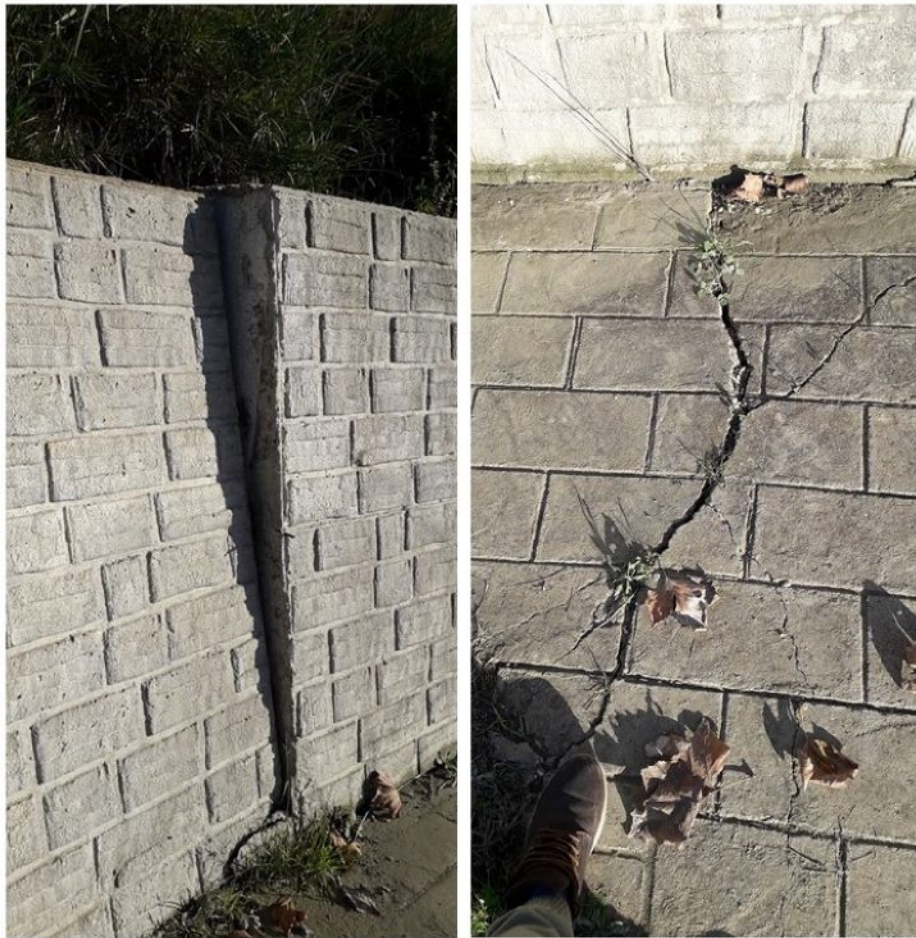
Përdorimi i gëlqeres si agjent stabilizues ka gjetur zbatim të gjerë në Suedi që në vitet 1970 e deri më sot, sidomos sa i përket dherave me parametra të dobëta. Këtu klasifikohen edhe argjilat e buta dhe dherat me veti bymimi të cilat shfaqin probleme kur janë në kontakt me ujin si dhe zhvillojnë sisteme çarjesh kur i nënshtrohen cikleve të lagës-tharjes, jo vetëm në strukturën e dheut por edhe në mbistrukturat inxhinierike, siç tregohet në Figurën 2.8. Një përdorim shumë të përhapur gëlqerja e gjen në sektorin e infrastrukturës së transportit ku përdoret si stabilizues i bazamenteve dhe nënshtresave të rrugëve automobilistike.

Katër lloje gëlqeresh gjejnë përdorim më të gjerë në stabilizimin e veprave gjeoteknike: gëlqerja e hidroksidit të kalciumit, ose siç njihet ndryshe 'gëlqere e shuar'  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 'gëlqerja e pashuar'  $\text{CaO}$ , gëlqerja e monohidroksidit dolo-motik  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}$  dhe gëlqerja e pashuar dolomitike  $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$  ([Das, 1990]; [Muhunthan & Sariosseiri, 2008]).

Stabilizimi që dherat fitojnë nga trajtimi me gëlqere, ndryshe nga rasti i çimentos, nuk vjen si pasojë e produkteve të hidratimit por është rezultat i reaksioneve pucolanike, e aftësisë së argjilave për të shkëmbyer katione dhe e procesit të flokulimit/aglomerimit, siç u përshkruan më sipër. Sasia optimale e gëlqeres që përdoret për stabilizimin e shumicës së dherave është zakonisht në intervalin 5-10% të peshës në gjendje të thatë ([Das, 1990]).

Përzierja e dherave me gëlqere sjell një numër efektesh pozitive, si për shembull rritjen e qëndrueshmërisë, rezistencën ndaj krijimit të çarjeve, zvogëlimin e uljeve, zvogëlimin e aftësisë së byimit dhe efekteve negative që lidhen me praninë e ujit në pore, rritjen e moduli të elasticitetit, etj. Në aspektin afatgjatë, efektet e përshkruara arrihen kryesisht nëpërmjet zvogëlimit të treguesit





**Figura 2.8:** Raste të zhvendosjeve dhe çarjeve të krijuara në argjilat e buta me aftësi të lartë bymimi (Currila, Durrës)

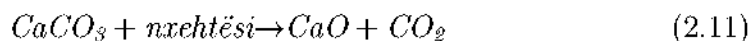
të plasticitetit të dherave kokërrimët. Megjithatë, përdorimi i gëlqeres mund të kryhet edhe për modifikim afatshkurtër, si për shembull për përdorimin e makinerive të rënda në një shesh ndërtimi. Teknologjia e përdorimit të gëlqeres ka gjetur zbatueshmëri në një sërë projektesh gjeoteknike, përfshi këtu edhe për rritjen e qëndrueshmërisë së pjerrësive, aftësinë mbajtëse të themeleve, përmirësimin e parametrave të argjinaturave, izolimin e lëndëve ndotëse për ambientin etj.

### 2.3.3.1 Reaksionet kimike të gëlqerja

Një ndër trajtat e gëlqeres që përdoret si agjent stabilizimi e ka prejardhjen nga guri gëlqeror që mineral shkëmbformues ka kalcitin  $\text{CaCO}_3$ . Procesi i

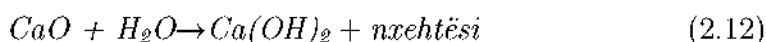


formimit të saj konsiston në pjekjen në furnalta deri në temperaturën 1000°C duke çliruar dyoksid karboni CO<sub>2</sub>. Produkti kryesor i këtij reaksioni është oksidi i kalciumit CaO, ose siç njihet ndryshe, gëlqerja e pashuar. Reaksioni kimik zhvillohet si më poshtë:



Sipas [Janz & Johansson, (2002)], cilësia e oksidit të kalciumit të përftuar, sa i përket aftësisë për të hyrë në reaksione pucolanike, varet nga dy faktorë: shkalla e kalcinimit (oksidimit) dhe madhësia e grimcave. Faktori i parë matet me sasinë e dyoksidit të karbonit të çliruar nga guri gëlqeror gjatë pjekjes. Kur kjo sasi është e madhe, produkti final i CaO është një material me dendësi të lartë, porozitet dhe sipërfaqe specifike të ulët, çka e ngadalëson reaksionin. Për pasojë, sa më e lartë të jetë shkalla e kalcinimit, aq më e vogël është aftësia për të hyrë në reaksion. Sa i përket faktorit të dytë mund të thuhet se sa më kokërrimët të jetë përbërja e grimcave të gëlqeres, aq më e lartë është aftësia për të hyrë në reaksion.

Në vazhdim, gëlqerja e pashuar i nënshtrohet procesit të hidratimit duke hyrë në reaksion me ujin e pranishëm në pore, si më poshtë:



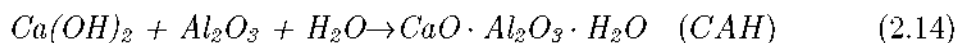
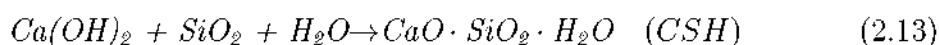
Ky proces shoqërohet me formimin e gëlqeres së shuar Ca(OH)<sub>2</sub> dhe me çlirimin e nxehtësisë si reaksion ekzotermik. Sasia e nxehtësisë së çliruar arrin diku tek 1163 kJ/kg ([Boynton, 1980]) ose 65 kJ/mol ([Makusa, 2012]), çka sjell avullimin e një pjese të mirë të ujit të pranishëm. Për më tepër, për formimin e gëlqeres së shuar, oksidi i kalciumit përthith rreth 32% të masës së tij nga uji i poreve. Këta dy faktorë që shoqërojnë procesin e hidratimit sjellin zvogëlimin drastik të parametrut të lagështisë në dhera duke shkaktuar një stabilizim të përkohshëm të tyre i cili humbet në momentin e ringopjes së tyre me ujë. Ky proces hidratimi, ndryshe nga reaksioni në çimento, nuk formon komponentë të cilët ndikojnë në bashkimin e grimcave. Pra ai nuk sjell asnjë rritje të qëndrueshmërisë së dheut. Megjithatë, në përgjithësi, proceset dytësore me ndikim afatgjatë në stabilizim, si për shembull reaksionet pucolanike apo flokulimi, ndodhin para sesa dherat ta humbasin stabilitetin e tyre të përkohshëm ([Janz & Johansson, (2002)]). Si pasojë e reaksionit 2.12 pH-i pëson rritje afërsisht drejt vlerës 12.5, çka ndikon si në shkëmbimin e kationeve ashtu edhe në nxitjen e reaksioneve pucolanike.

Në aspekt të përgjithshëm, çimentoja ka aftësi shkëmbimi të joneve më të vogël sesa gëlqerja, pasi sasi të mëdha jonesh kaliumi dhe natriumi çlirohen në tretësirë nga çimentoja kur hyn në reaksion me ujin. Për pasojë shkëmbimi i

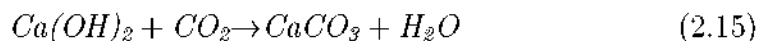
joneve të kaliumit dhe natriumit të argjilës me ato të kalciumit pengohet nga prania e tyre në tretësirën e ujit ([Janz & Johansson, (2002)]).

### 2.3.3.2 Stabilizimi nëpërmjet reaksioneve pucolanike

Shkëmbimi i joneve dhe flokulimi japin efekte të menjëhershme stabilizuese në dherat e trajtuara me gëlqere, ndërkohë që reaksioni i hidratimit të CaO sipas ekuacionit 2.12 dhe formimi i  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nuk ndikon në stabilitet. Megjithatë ky reaksion ndikon në rritjen e ndjeshme të pH-it të tretësirës deri në vlerën 12.5 çka mundëson tretjen e komponimeve silicore ( $\text{SiO}_2$ ) dhe aluminoze ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) të pranishme në argjila dhe fillimin e reaksionit pucolanik mes këtyre komponimeve dhe kalciumit të gëlqeres së shuar, për të formuar materiale xhelatinoze të ngjashme me ato të formuara nga reaksioni i hidratimit të çimentos. Megjithatë ndryshimi thelbësor me çimenton është se reaksionet pucolanike, siç u përmend më parë, janë të ngadalta dhe shtrihen në kohë nga disa muaj deri në disa vite duke siguruar një stabilitet afatgjatë. Prandaj për ta përshpejtuar këtë reaksion shpesh herë rekomandohet përzierja e gëlqeres me çimento apo edhe agjentë të tjerë dytësorë. Reaksioni pucolanik vazhdon për aq kohë sa prania e hidroksidit të kalciumit në tretësirë është në sasi të mjaftueshme sa për të ruajtur nivelin e pH-it të lartë.



Komponimet e përftuara nga reaksioni pucolanik njihen si hidrosilikat i kalciumit (CSH) dhe hidroaluminat i kalciumit (CAH) dhe janë ato të cilat i japin stabilitetin afatgjatë dherave. Megjithatë në disa raste gëlqerja e shuar reagon me dyoksidin e karbonit të pranishëm në ajër, duke formuar përsëri karbonat kalciumi sipas reaksionit të mëposhtëm:



Ky reaksion është i pavarur nga reaksionet pucolanike dhe është përgjegjës për fortësinë e laçit. Megjithatë ky reaksion konsiderohet si i padëshirueshëm nga pikëpamja e stabilizimit të dherave ([Bergado et al., 1996]), pasi ndikon negativisht në procesin e magazinimit dhe ruajtjes së gëlqeres. Procesi i formimit të karbonatit të kalciumit nga faktorë klimaterikë si lagështia dhe dyoksidi i karbonit i pranishëm në ajër, mund të shkaktojë humbjen e reaktivitetit të gëlqeres brenda një harku kohor të shkurtër (7-ditor).

### 2.3.3.3 Faktorët që ndikojnë në reaksionin me gëlqere

Faktorët që ndikojnë në zhvillimin e reaksionit të gëlqeres së shuar e të pashuar, si dhe në përfitim të produkteve të reaksionit që e rrisin rezistencën, janë të ngjashëm me faktorët që ndikonin në reaksionin e çimentos, të përshkruar më sipër. Megjithatë këtu do përmenden disa faktorë specifikë që ndikojnë në reaksionin e gëlqeres si dhe dallimet mes faktorëve të ngjashëm në të dyja rastet.

- **Prania e materialeve pucolanike në dhera:** Nëse dherat nuk përmbajnë materiale pucolanike, atëherë përzierja me gëlqere nuk do rezultojë në rritjen e rezistencës. Rëndësia e materialeve pucolanike evidentohet nga fakti se, në varësi të pranisë së mineraleve pucolanike në dhera të afta për të hyrë në reaksion me  $\text{Ca(OH)}_2$ , mund të përftohet një stabilitet më i lartë nga përdorimi i gëlqeres sesa ai i përftuar nga përdorimi i çimentos. Kjo mund të vërehet duke marrë në konsideratë sasinë në gramë të produkteve të reaksionit të prodhuara në rastin e gëlqeres dhe të çimentos, megjithëse sasia është vetëm një indikator i rezistencës së përftuar nga reaksioni. Për shembull, sipas [Janz & Johansson, (2002)]: 100 g çimento hyn në reaksion me 25 g ujë dhe jep 100 g produkt CSH + 25 g  $\text{Ca(OH)}_2$ . Reaksioni i hidratimit të CaO jep një sasi dukshëm më të madhe: 100 g CaO hyn në reaksion me 32 g ujë dhe jep 132 g  $\text{Ca(OH)}_2$ , si produkti i vetëm i këtij reaksioni, por i cili nuk ndikon në qëndrueshmëri. Nëse nga reaksioni pucolanik mes dheut dhe  $\text{Ca(OH)}_2$  përftohet një prej produkteve me veti çimentuese  $\text{C}_2\text{ASH}_8$  (stratlingit -  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), atëherë për 100 g  $\text{Ca(OH)}_2$  formohen 282 g stratlingit. Në këtë mënyrë pesha e produkteve të reaksionit e tejkalon peshën fillestare të agjentit stabilizues. Por produkti i prodhuar nga gëlqerja është thujasë sa dyfishi i atij të prodhuar nga çimentoja, siç jepet në Tabelën 2.9:

|               | Produktet e reaksionit në (g) |                    |       |
|---------------|-------------------------------|--------------------|-------|
|               | reaksioni me ujin             | reaksion pucolanik | shuma |
| 100 g çimento | 100                           | 71                 | 171   |
| 100 g gëlqere | 0                             | 373                | 373   |

**Tabela 2.9:** Sasia e produkteve të reaksionit për 100 g agjenti stabilizues ([Janz & Johansson, (2002)])

Vlerat e treguara në tabelë për rastin e gëlqeres i referohen produkteve të reaksionit në të cilin presupozohet se 100% e  $\text{Ca(OH)}_2$  hyn në reaksion me mineralet pucolanike të dheut. Prandaj në dherat ku sasia e mineraleve pucolanike është e lartë dhe  $\text{Ca(OH)}_2$  e dheut është e ulët,

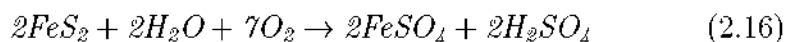
gjë që mundëson reaksionin mes  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  të gëlqeres me këto minerale, produktet e reaksionit të gëlqeres  $\text{CaO}$  (p.sh. stratlingit) japin rezultate më të mira në stabilitet sesa ato të çimentos.

- **Lloji i gëlqeres se përdorur:** Reaksionet 2.13 dhe 2.14 mund të nisin si nga gëlqerja e pashuar ashtu edhe nga gëlqerja e shuar. Megjithatë  $\text{CaO}$  është forma më e përdorur e gëlqeres pasi paraqet avantazhet e mëposhtme ndaj  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :
  - Sasi më të madhe të gëlqeres së lirë për njësi mase;
  - Dendësi më të lartë sesa gëlqerja e shuar (zë më pak vend për magazinim);
  - Gjeneron nxehtësi nga reaksioni me ujin e cila redukton në sasi të konsiderueshme lagështinë dhe përshpejton përfitim të rezistencës ([Makusa, 2012]).

Sa i përket pikës së fundit duhet pasur parasysh fakti se reaksionet pucolanike janë shumë të ndjeshme ndaj temperaturës. Temperaturat e ulëta e ngadalësojnë procesin e përfimit të rezistencës. Për këtë arsye energjia e çliruar nga reaksioni i  $\text{CaO}$  me ujin shërben si nxitës i reaksioneve pucolanike. Shpejtësia e reaksionit varet gjithashtu nga sipërfaqja specifike dhe shkalla e përzierjes së gëlqeres me dheun.

- **Sulfatet dhe sulfuret:** Për dherat në të cilat janë të pranishme minerale sulfatike, në përgjithësi nuk rekomandohet të trajtohen me gëlqere pasi kjo mund të sjellë pasoja negative të paparashikuara. Ato lidhen me aftësinë e sulfateve, si për shembull gjipseve, për të hyrë në reaksion me gëlqeren dhe të formojnë produkte të cilat kanë aftësi të disa-fishojnë vëllimin e tyre (të bymehen). Një i tillë produkt është etringiti (i përmendur më sipër) i cili formon një strukturë fijëzore në trajtë gjilpërash dhe mund të rrisë vëllimin duke ndikuar negativisht në rezistencën e dheut. Një reaksion i tillë mund të ndodhë në praninë e bollshme të ujit të poreve. Megjithatë, në procedurat e përzierjes uji i bollshëm mund të shërbejë për shkrirjen e lëndës sulfatike duke mundësuar vazhdimësinë normale të reaksionit ([Sherwood, 1993]). Sulfuret gjithashtu mund të kenë efekte të ngjashme me ato të sulfateve. Për shembull, oksidimi i sulfurit të hekurit  $\text{FeS}_2$  (pirit) jep acidin sulfurik  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , i cili në prani të karbonatit të kalciumit  $\text{CaCO}_3$  (kalcit) mund të hyjë në reaksion për të formuar gjips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Këto reaksione tregohen më poshtë:



- Lloji i dheut:** Siç u përmend edhe më parë, përdorimi i gëlqeres nuk jep rezultate të kënaqshme në dherat organikë. Kjo vjen si pasojë e mungesës së mineraleve pucolanike në këto dhera si dhe prania e acidit humik i cili e pengon reaksionin pucolanik duke hyrë në reaksion me hidroksidin e kaliumit për të formuar disa produkte të patretshme që vendosen ndërmjet grimcave duke penguar kështu arritjen e rezistencës maksimale. Për këto dhera propozohet kryesisht përdorimi i çimentos dhe i agjentëve dytësorë. Ndërkohë, në saje të aftësisë për zvogëlimin drastik të lagështisë së dherave, përdorimi i gëlqeres është i përhapur në dhera me tregues plasticiteti të lartë (mbi 15) dhe në dherat argjilore të pasur në minerale pucolanike. Mungesa e këtyre mineraleve në dherat kokrrizore bën që përdorimi i gëlqeres në këto dhera të shoqërohet edhe me stabilizues dytësorë ([Muhunthan & Sariosseiri, 2008]). Për më tepër, sa më kokërrimët të jetë dheu aq më i shpejtë është reaksioni. Bazuar në sistemin e unifikuar të klasifikimit të dherave USCS, [Little, 1995] propozon dherat e mëposhtëm si të përshtatshëm për trajtim me gëlqere: CH, CL, MH, SC, SM, GC, SW-SC, SP-SC, SM-SC, GP-GC, dhe GM-GC. Sipas [Ahnberg et al., 1995], ndikimi i agjentëve kimikë të gëlqeres, çimentos dhe përzierjes së të dyve është marrë në konsideratë për katër lloje dherash: pluhur argjilor, argjilë pluhurore, argjilë dhe torfa. Me shenjat (+) dhe (-) në Tabelën 2.10 jepet ndikimi pozitiv dhe negativ i çdo agjenti në llojet e ndryshme të dherave. Siç mund të vihet re, ndikimi më i madh i gëlqeres është tek argjilat pluhurore dhe më pak te dherat organike.
- Koha e maturimit:** Ky është një faktor i rëndësishëm sa i përket përdorimit të gëlqeres pasi rezistenca e përfutur në dhera si pasojë e reaksioneve pucolanike shtrihet në kohë për një periudhë afatgjatë që arrin deri në disa vjet. Këto reaksione kanë avantazhin që duke qenë të ngadalta lejojnë një procedurë të gjatë të përzierjes së dheut me gëlqeren çka mundëson një përzierje më homogjene. Në procedurën e përdorimit të gëlqeres, një periudhë e caktuar "zbutjeje" nevojitet për t'i dhënë kohë gëlqeres të shpërndahet si duhet në poret e dheut për të dhënë efekt maksimal.

|                        | Materiali i dheut |                   |         |       |
|------------------------|-------------------|-------------------|---------|-------|
|                        | Pluhur argjilor   | Argjilë pluhurore | Argjilë | Torfë |
| <b>Agjentët kimikë</b> |                   |                   |         |       |
| Gëlqere                | +                 | ++                | +       | -     |
| Gëlqere-çimento        | ++                | ++                | ++      | +     |
| Gëlqere                | +++               | +++               | ++      | ++    |

**Tabela 2.10:** Ndikimi i agjentëve kimikë në llojet e ndryshe të dherave ([Ahnberg et al., 1995])

Pas kësaj periudhe procesi i përzierjes mund të vijojë me rezultate të kënaqshme sa i përket rezistencës pas kompaktësimit ([Sherwood, 1993]). Kjo periudhë "zbutjeje" që ndiqet nga një procedurë ripërzierjeje është specifike për gëlqeren. Për më tepër, procesi i përforcimit në dherat e dëmtuara vazhdon në mënyrë autonome për disa vjet.

- **Prania e mineraleve argjilore:** Disa autorë e lidhin sasinë optimale të gëlqeres së përdorur me llojin e mineraleve argjilore (montmorilonit, kaolinit, ilit) të pranishme në dhera, bazuar në aftësinë që kanë këto të fundit që nga reaksioni kimik me gëlqeren të rritin rezistencën e dheut. Kështu, [Eades & Grim, 1966] propozojnë 4-6% gëlqere të përdorur në kaolinit dhe 8% për ilit dhe montmorilonit, si përqindjet optimale për të arritur rezistencë maksimale në dhera.
- **Sasia e gëlqeres:** Sasia në përqindje e gëlqeres që përdoret si agjent stabilizues varet kryesisht nga lloji i dheut që do stabilizohet dhe nga efekti që kërkohet të arrihet. Për shembull, për reaksionet pucolanike kërkohet një sasi e konsiderueshme gëlqereje në mënyrë që të gjitha materialet pucolanike të dheut të hyjnë në reaksion. Një numër metodash bazuar në të dhëna empirike propozojnë llogaritjen e sasisë optimale të gëlqeres. Kështu, [Hilt & Davidson, 1960] propozojnë formulën e mëposhtme të llogaritjes:

$$Sasia\ optimale\ e\ gëlqeres = \frac{\% e\ argjilës}{35} + 1.25 \quad (2.18)$$

[Das, 1990] propozon 2-3% gëlqere për të përmirësuar përpunueshmërinë e dherave dhe plasticitetin dhe 5-10% për stabilizim bazuar në reaksionet pucolanike. [Ola, 1978] rekomandon përdorimin deri në 10% gëlqere për

dhera me aftësi bymimi, ndërkohë që për këto lloje dherash [Akawwi & Al-Kharabsheh, 2002] propozojnë 3.5-5% të peshës vëllimore të skeletit për gëlqere të pashuar CaO. Tabela 2.11 e propozuar nga [Thomson, 1967] tregon varësinë e plasticitetit të argjilave të ndryshme (të shprehura sipas klasifikimit AASHTO) nga trajtimi me gëlqere.

| 0% gëlqere |    |    | 5% gëlqere |            |
|------------|----|----|------------|------------|
| AASHTO     | LL | PI | LL         | PI         |
| A-7-6 (18) | 53 | 29 | Jo Plastik | Jo Plastik |
| A-7-6 (19) | 54 | 33 | Jo Plastik | Jo Plastik |
| A-7-6 (19) | 54 | 31 | Jo Plastik | Jo Plastik |
| A-7-6 (17) | 46 | 29 | Jo Plastik | Jo Plastik |

Tabela 2.11: Ndikimi i gëlqeres në plasticitetin e argjilave ([Thomson, 1967])

- **Temperatura:** Ky është një ndër faktorët kyç sa i përket reaksioneve pucolanike që ndodhin në prani të gëlqeres. Siç u përmend edhe më lart, reaksioni kimik i shuarjes së gëlqeres, pra i shndërrimit të CaO në  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , shoqërohet me çlirim sasish të mëdha nxehtësie e cila shkakton avullimin drastik të ujit të poreve dhe siguron një efekt të përkohshëm stabilizimi. Nxehtësia gjithashtu shkakton një rritje të konsiderueshme të temperaturës së dheut në vlerat 40-50°C, duke iu afruar vlerës 100°C ([Ahnberg et al., 1995]). Dheu kërkon një kohë relativisht të gjatë për t'u rikthyer në vlerën normale të temperaturës. Kjo periudhë kohe kur temperatura e dheut është e lartë mundëson kushtet optimale për të nxitur reaksionin e dytë që është ai pucolanik. Ky është një reaksion i cili është jashtëzakonisht shumë i ndjeshëm ndaj temperaturës dhe rikthimi i dheut në temperaturën normale ka ndikim të drejtpërdrejtë në zvogëlimin e rezistencës së përftuar nga ky proces afatgjatë.

Një tjetër faktor që duhet marrë në konsideratë dhe që lidhet me temperaturën është ndryshimi i temperaturës së dheut *in-situ* dhe temperaturës në të cilën kryhet prova në laborator. [Janz & Johansson, (2002)] marrin në konsideratë rastin e Suedisë ku temperatura mesatare e truallit është diku tek 8°C. Ndërkohë që nëse prova në laborator kryhet në temperaturën 20°C atëherë reaksioni pucolanik do zhvillohet me një shpejtësi shumë më të madhe në ambientin më të ngrohtë. Kjo reflektohet edhe tek shpejtësia e përftimit të rezistencës së dheut të trajtuar me gëlqere. Çimentoja gjithashtu shfaq shpejtësi më të madhe reaksioni për temperatura më të larta, por hidratimi i çimentos është shumë më pak i ndjeshëm ndaj temperaturës krahasuar me reaksionet pucolanike.

Nga ana tjetër, madhësia e kampionëve të dherave në laborator ndikon në shpejtësinë e ftohjes së tyre. Për shembull nëse tentohet të simulohet ambienti i jashtëm duke e ruajtur kampionin në një temperaturë 8°C, procesi i ftohjes së kampionit është shumë më i shpejtë sesa procesi i ftohjes së dherave *in-situ*, temperatura e të cilave është rritur ndjeshëm nga reaksionet e hidratimit të gëlqeres. Për pasojë, efektet pozitive të rezistencës së përftuar nga procesi i përhapjes së nxehtësisë në shtresën e dheut është më pak i dukshëm në laborator sesa në terren.

#### 2.3.3.4 Efektet e trajtimit të dherave me gëlqere

Efektet e gëlqeres në dhera mund të kategorizohen në dy grupe, bazuar në reaksionet që ndodhin ndërmjet gëlqeres dhe dheut, siç u përshkrua më lart: efekte të menjëhershme dhe efekte afatgjata. Ndër efektet e menjëhershme mund të përmendet rritja e kufirit të plasticitetit dhe zvogëlimi i kufirit të rrjedhshmërisë, çka rezulton në zvogëlimin e treguesit të plasticitetit. Ky efekt e bën përzierjen e dheut më të lehtë. Gjithashtu, reaksioni kimik mes dheut dhe gëlqeres ndikon në zvogëlimin e menjëhershëm të sasisë së ujit në pore, duke mundësuar procesin e kompaktësimit për dhera me lagështi të lartë. Këto dy efekte ndikojnë pozitivisht në fazat e para të procesit të ndërtimit në terren duke siguruar një platformë të përshtatshme për lëvizjen e mjeteve të rënda. Ndër efektet afatgjata përfundimtare të trajtimit të dherave me gëlqere mund të përmenden rritja e rezistencës dhe e qëndrueshmërisë, që vijnë si pasojë e ndryshimeve të vetive në dhera, si për shembull rritjes së lagështisë optimale dhe zvogëlimit të dendësisë maksimale, zvogëlimit të aftësisë së byimit, rritjes së modulit të elasticitetit etj. Më poshtë përshkruhen disa prej efekteve.

- **Kufijtë e Atterberg-ut:** Gëlqerja është agjenti stabilizues që ka ndikimin më të madh në ndryshimin e kufijve të Atterberg-ut, çka sjell përmirësimin e vetive të dherave. Ndryshimi i kufijve vjen si pasojë e reaksioneve që ndodhin në prani të gëlqeres. Kështu, një pjesë e mirë e ujit të poreve përthithet nga gëlqerja e pashuar gjatë reaksionit të hidratimit. Ky është një reaksion ekzotermik që çliron energji. Energjia e çliruar ndikon në avullimin e një pjese të ujit të poreve. Për më tepër, nga procesi i flokulimit, struktura e re e grimcave pamundëson "izolimin" e ujit ndërmjet grimcave. Prandaj modifikimi me anë të gëlqeres shkakton uljen e kufirit të rrjedhshmërisë së dherave, rritjen e kufirit të tkurrjes dhe kufirit të plasticitetit, duke sjellë zvogëlimin e treguesit të plasticitetit. [Sherwood, 1993] propozon raportet e mëposhtme të përqindjes së gëlqeres së përdorur në përzierje me ndryshimin e kufijve: me shtimin e 2% gëlqereje, kufiri i plasticitetit rritet nga 25% në 40%. Në këtë



mënyrë lagështia natyrore e dheut prej 35%, nga 10% sipër kufirit të plasticitetit kalon në 5% poshtë tij, duke siguruar një gjendje më të qëndrueshme.

- **Lagështia optimale dhe dendësia maksimale:** Sipas studimeve të kryera është vënë re se ndikimi i gëlqeres në këto parametra shkakton rritjen e vlerës së lagështisë optimale për procesin e ngjeshjes dhe uljen e vlerës së dendësisë maksimale ([Mallela et al., 2004]). Zvogëlimi i dendësisë në dukje mund të interpretohet si zvogëlim i rezistencës, por efektet e çimentimit të përshkruara më sipër bëjnë që në qasje të fundit rezistenca e dherave të trajtuara me agjentë stabilizues të rezultojë më e lartë se në dherat e patrajtuar por me shkallë më të lartë kompaktësimi. Nga ana tjetër, rritja e lagështisë optimale thjeshton procesin e kompaktësimit për dhera me lagështi natyrore të lartë. Një nga karakteristikat që ndryshon nga trajtimi i dherave me agjentë kimikë është edhe forma e kurbës së ngjeshmërisë që përftohet nga procesi i ngjeshjes në aparatin Proctor. Nga një grafik në formë kambane (bell-shaped), forma e grafikut bëhet tipikisht e shtrirë. Nga njëra anë, ky ndryshim në formën e grafikut do të thotë se me ndryshimin e lagështisë nuk kemi ndryshim të theksuar të vlerës së ngjeshmërisë maksimale, por luhatja e kësaj vlere është më e moderuar. Nga ana tjetër, shtrirja që pëson grafiku nënkupton se vlerat e dëshiruara të parametrut të peshës vëllimore të thatë maksimale përftohen më lehtësisht, duke kursyer kohë dhe energji ([Ismaiel & Badry, 2013]).
- **Potenciali i bymimit:** Siç u trajtua edhe më sipër, me zvogëlimin e treguesit të plasticitetit zvogëlohet njëkohësisht edhe aftësia që kanë dherat argjilore për t'u bymyer. Për më tepër, skeleti grimcor që formohet si pasojë e procesit të flokulimit shërben si strukturë mbrojtëse që vepron kundër tendencës për bymim. Zvogëlimi i vlerës së dendësisë maksimale, e shprehur me parametrin e peshës vëllimore të skeletit, bën që edhe presionet e bymimit të rezultojnë më të vogla në dherat argjilore. Për pasojë edhe potenciali i bymimit ulet ndjeshëm me shtimin e sasisë së gëlqeres në dhera. Sipas [Tabataba, 1997], trajtimi i dherave argjilore me gëlqere mund të zvogëlojë potencialin e bymimit nga 8% në 0.1%. Por siç u përmend edhe më lartë, kujdes i veçantë duhet treguar në përcaktimin e sasisë së mineraleve sulfatike në dhera.
- **Rezistenca në shtypjen njëboshtore dhe parametra të tjera:** Rezistenca në shtypjen njëboshtore (qu) për dherat kokërrimët të ngjeshura në lagështi optimale varion nga 170 kN/m<sup>2</sup> në 2100 kN/m<sup>2</sup>, në varësi të llojit të dheut. Me përzierjen e 3 deri 5% gëlqere dhe me

një periudhë maturimi prej 28 ditësh, rezistenca në shtypje mund të pësojë rritje deri në  $700 \text{ kN/m}^2$  mbi vlerën fillestare ([Das, 1990]). Kjo rritje vjen pjesërisht si pasojë e rritjes së kohezionit dhe rritjes minimale të këndit të fërkimit të brendshëm ([Thompson, 1966]). Marrëdhënia empirike e propozuar nga ky autor mes kohezionit dhe rezistencës në shtypje jepet si më poshtë:

$$c = 9.3 + 0.292 \cdot q_u \quad (2.19)$$

Ndërkohë moduli i elasticitetit gjithashtu pëson rritje. Relacioni me rezistencën në shtypje jepen si më poshtë ([Thompson, 1966]):

$$E_s(\text{MN/m}^2) = 68.86 + 0.124 \cdot q_u(\text{kN/m}^2) \quad (2.20)$$

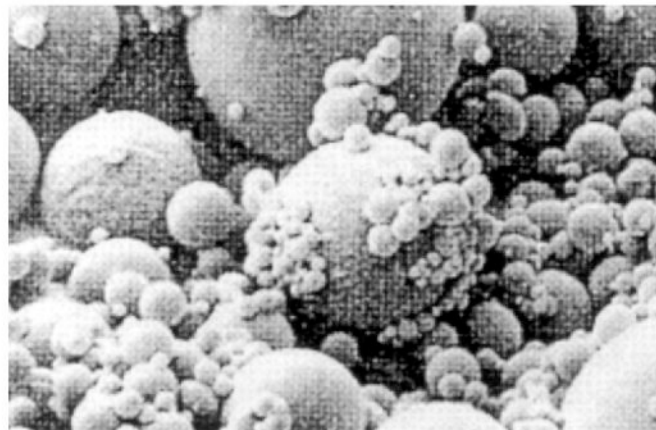
- **Ndryshimi i sjelljes plastike:** Me procesin e flokulimit dhe aglomerimit të grimcave nga shkëmbimi i kationeve dhe krijimi i lidhjeve mes tyre, ndryshon edhe sjellja plastike e argjilave. Sipas [Hopkins, 2008], mbi shtatë lloje dherash argjilore u trajtuan me 4-6% gëlqere për një periudhë afatgjatë nga 8 deri në 13 vjet. Fillimisht rreth 72% e dherave të patrajuara me gëlqere klasifikoheshin sipas USCS si CL, pra si argjila me plasticitet të ulët (ose mesatar). Rreth 12% klasifikoheshin si CH (argjila me plasticitet të lartë) ose MH (pluhura me  $LL > 50\%$ ). Pra rreth 84% dherave klasifikoheshin si dhera argjilore. Pjesa tjetër ishin 16% ML (pluhura), SM (pluhura rërore) ose SC (argjila rërore). Pas trajtimit me argjilë, granulometria e tyre kishte ndryshuar duke u kthyer në 75% ML, 22% SM ose 3% MH. Pra dherat argjilore u kthyen në dhera pluhurore dhe pluhuroro-rërore.

### 2.3.4 Stabilizimi me hi qymyror

Hiri qymyror konsiderohet si një ndër agjentët kimik stabilizues dytësor. Këtu bëjnë pjesë ata agjentë të cilët në reaksion ndikojnë vetëm si faktorë të jashtëm mekanikë. Pra në mungesë të një burimi oksidi kalciumi, si për shembull nga çimentoja apo gëlqerja, përbërësit e këtij grupi e kanë të vështirë të hyjnë në reaksione pucolanike për të dhënë komponime me veti çimentuese. Për dhera të cilat nuk përmbajnë material pucolanik, hiri qymyror është një burim i domosdoshëm për zhvillimin e këtyre reaksioneve. Ai formohet si produkt dytësor nga djegia e qymyrit në stacionet e prodhimit të energjisë elektrike. Përbërja kimike e hirit qymyror konsiston kryesisht në oksidet e silicit dhe aluminit, si dhe disa okside të tjera:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ . Hiri qymyror klasifikohet në dy grupe, klasa C dhe

klasa F, bazuar në përbërjen kimike sipas [ASTM C618-19]. Klasa C përmban përqindjen më të madhe të  $\text{CaO}$  (20-30%) dhe mund të marrë pjesë direkt në reaksionet pucolanike. Në mënyrë që kjo të ndodhë, nevojitet prania e ujit për formimin e  $\text{Ca(OH)}_2$  dhe futjen më pas të tij në reaksionet pucolanike me silikatet dhe aluminatet që ndodhen në përbërjen e hirit qymyror. Produktet e formuara të reaksionit janë të njëjta me ato të procesit të hidratimit si CSH apo CASH. Klasa F e hirit qymyror, nga ana tjetër, përmban më pak se 10% oksid kalciumi, çka e kufizon aftësinë e tij për të hyrë në reaksion pa një burim të këtij oksidi që ofrohet tipikisht nga çimentoja ose gëlqerja.

Zvogëlimi i aftësisë së bymimit në dherat e trajtuara me hi qymyror vjen kryesisht si pasojë e ndërlidhjes mekanike ndërmjet grimcave dhe hirit nga reaksionet pucolanike, jo dhe aq prej shkëmbimit të kationeve. Kjo sepse përgjithësisht kalciumi nuk gjendet në sasi të mëdha të këto përbërje, siç ndodh me agjentët kimikë të përmendur më sipër.



**Figura 2.9:** Pamje e zmadhuar e hirit qymyror ([Johansson, 1994])

Për të përftuar një rezultat më të mirë shpesh herë përdoret përzierja e çimentos, gëlqeres dhe një agjenti dytësor. Reagimi i çimentos me ujin shkakton një rritje të atypëratyshme të rezistencës nga reaksioni hidraulik. Ky reaksion më pas ndiqet nga një reaksion i ngadaltë pucolanik mes hidroksidin e kalciumit të çliruar dhe lëndëve pucolanike. Prania e hirit vullkanik ndihmon në krijimin e një pastë të fortë çimentuese. [Little et al., 2000] propozojnë disa vlera në lidhje me raportet që duhen përdorur këta agjentë. Për përzierje të gëlqeres me hirin e qymyrit raporti mes të dyjave luhatet ndërmjet 2-8% me 10-15%, respektivisht. Ndërkohë që për përzierjen gëlqere-hi qymyror-çimento raporti qëndron në vlerat respektive 3-4% me 10-15% dhe 0.5-1.5%.

Përveç hirit të qymyrit ekziston një numër i madh materialsesh me veti të

ngjashme që mund të shërbejnë si agjentë dytësorë në reaksionet pucolanike. Për më tepër këta agjentë mund të ndikojnë në uljen e tendencës për përthithjen e ujit nga dherat, zvogëlimin e tendencës së bymimit, zvogëlimin e treguesit të plasticitetit si dhe trajtimin e efektshëm të dherave organike dhe torfave. Këtu mund të përmenden zgjyra silicore, skorjet metalore, pudra e çimentos etj.

Agjentët dytësorë mund të përmbajnë përqindje të ulët të CaO, por nuk mund të hyjnë të vetëm në reaksion ([Janz & Johansson, (2002)]). Aftësia e tyre për të hyrë në reaksion varet gjithashtu nga sipërfaqja specifike, shkalla e kristalizimit dhe nga sasia e agjentit (që është tregues i porozitetit të pastës së formuar). Sa më të imëta të jenë grimcat, aq më shumë rritet kjo aftësi, dhe sa më amorfë të jetë struktura e tyre, aq më reaktivë janë agjentët. Kështu, sipas autorëve dallimi kryesor mes zgjyrës silicore dhe hirit të qymyrit është se e para e ka sipërfaqen specifike rreth 20.000 m<sup>2</sup>/kg ndërsa e dyta 300-500 m<sup>2</sup>/kg. Prandaj zgjyra silicore jep kontribut shumë më të madh në rezistencë sesa hiri i qymyrit. Ndërkohë që poroziteti shprehet nëpërmjet raportit të ujë/çimentos totale përmes parametrit *wtrc*.

$$wtrc = \frac{W}{C+D} \quad (2.21)$$

- ku W është masa e ujit që hyn në reaksion [kg], C është masa e çimentos [kg] dhe D është masa e agjentit dytësor ([Janz & Johansson, (2002)]). Dherat me vlera të larta të koeficientit *wtrc* janë ato organike, për të cilat rezistenca në prerje është minimale. Ndërkohë që vlerën më të vogël të *wtrc* e kanë dherat që klasifikohen si pluhura argjilore dhe argjila pluhurore. Dherat më kokërrtrashë shfaqin vlerën maksimale të rezistencës në prerje ([Ahnberg et al., 1995]).

#### 2.3.4.1 Konsiderata mbi ndikimin mjedisor të hirit qymyror

Përmbajtja e metaleve të rënda në përbërjen e hirit qymyror ka ngritur shqetësime në lidhje me ndotjet ambientale dhe rreziqet ndaj shëndetit që ai mund të shkaktojë. Një pjesë e mirë e metaleve si mangani, plumbi, bakri, nikeli, zinku, kobalti, hekuri etj. mund të filtrojnë nga dampat ku depozitohen në ujërat nëntokësore dhe të ndotin burimet e ujit të pijshëm. Në dampat e depozituara në ambient të hapur, minerali i arsenikut konsiderohet si ndër elementët helmues më të rrezikshëm që mund të dëmtojnë seriozisht shëndetin. Sipas [Khan & Umar, 2019], nga analizat e kryera mbi kampione dherash në afërsi të dampave të hirit qymyror, rezultoi se prania e metaleve të rënda dhe e lëndëve toksike në ujërat nëntokësore nuk i plotësonin kriteret për ujë të

pijshëm të Organizatës Botërore të Shëndetit (OBSh), madje uji nuk ishte i përshtatshëm as për përdorim shtëpiak apo për ujitje.

Hiri qymyror i prodhuar në hapësirën e Kosovës ka gjetur përdorim të gjerë si komponim shtesë në përzierjet me çimento për prodhimin e betonit dhe të llaçit ([Qaflehi et al., 2013]; [Alaj & Numao, 2017]; [Luga et al., 2017]). Autorët tregojnë se nga puna e stacioneve energjitike Kosova-A dhe Kosova-B, janë depozituar rreth 40 milionë tonë hiri qymyror nëpër *landfille* që zënë një hapësirë prej 400 hektarësh tokë, ndërkohë që vazhdojnë të gjenerohen çdo vit rreth 1.5 milion tonë. Sipas [Qaflehi et al., 2017], dëmi mjedisor në Kosovë në prodhimin e çimentos përlllogaritet me çlirimin e rreth 1 milionë tonë CO<sub>2</sub> në atmosferë çdo vit. Ndërkohë që industria e prodhimit të çimentos shkakton emetimin e 5 deri 7% të gazrave serë në rang global ([Meyer, 2009]). Rrjedhimisht, zëvendësimi i 30% çimentoje me hiri qymyror, shifër kjo që rezultoi e përshtatshme në përftimin e parametrave të kërkuara të betonit, do ta ulte me 300.000 tonë emetimin e dyoksidit të karbonit në atmosferë dhe do bënte të mundur tjetërsimin e rreth 125.000 m<sup>3</sup> hiri qymyror, nga mbetje mjedisore e depozituar në *landfille* në material ndërtimi.

Në konkluzione të ngjashme dalin edhe autorë të tjerë. Sipas [Romman, 2017], përdorimi i hirit qymyror në industrinë e prodhimit të betonit paraqet tre përparësi:

- Aspektin ekonomik: me rritjen e përdorimit të hirit qymyror zvogëlohet sasia e çimentos që duhet të përdoret.
- Aspektin mjedisor: depozitimi i hirit qymyror nëpër dampa të hapura apo *landfille* përbën rrezik për ndotjen mjedisore dhe shëndetin e banorëve.
- Aspektin e qëndrueshmërisë: betoni i përbërë nga çimento të përzier me hi qymyror ka qëndrueshmëri më të lartë sesa ai i zakonshmi.

Rreziku që hiri qymyror përfaqëson ndaj ndotjes së ambientit mund të përbëjë një arsye shtesë për riciklimin e tij në industrinë e ndërtimit. Sipas [Sear et al., 2003], analizat e kryera mbi hiri qymyror të përdorur si material mbushës nëpër digat e betonit treguan se impakti mjedisor i elementëve ndotës, si dhe niveli i gazit radon të çliruar dhe metalet e rënda, nuk i tejkalonin normat e lejuara nëse ndiqen procedurat përkatëse. Ky rezultat dëshmon për përshtatshmërinë e përdorimit të këtij materiali në fushën e ndërtimit dhe stabilizimit të dherave, gjë që nuk shoqërohet me rrezikshmërinë e ndotjes së mjedisit si në rastin kur ndodhet i depozituar në sasi të mëdha nëpër ambiente të hapura.

### 2.3.5 Analizë e kostove të përdorimit të agjentëve kimikë

Në përzgjedhjen e agjentit kimik që do përdoret në stabilizim, përveç modifikimeve që do t'i shkaktojë dheut, vlen të merret në konsideratë edhe kostoja. Çmimi më i lartë i çimentos në treg krahasuar me agjentët e tjerë shoqërohet me një kosto më të lartë. Kështu, sipas [Muhunthan & Sariosseiri, 2008], në një projekt në Kaliforni ku u përdor çimentoja si agjent stabilizues dhe ku thellësia e gërmimit të shtresës që u përzie me çimento ishte rreth 15 cm, kostoja e projektit u luhet nga \$3.3 në \$4.1 për metër katror. Ndërkohë, në Arkansas ku agjenti stabilizues ishte gëlqerja, për një thellësi gërmimi dhe përzierje prej 20 cm, kostoja e projektit luhatej nga \$1.6 në \$2.4 për metër katror - pra afërsisht gjysma e vlerës. Sa i përket agjentëve si hiri qymyror apo skorjet metalore, të cilat janë nënprodukte të proceseve të djegies në industrinë e metalurgjisë apo të prodhimit të energjisë, ato shpesh herë mund të takohen në treg me çmim fare të ulët, ose në disa raste falas pasi gjenden të hedhura në ambiente të hapura. Siç do analizohet më poshtë, riciklimi i tyre në praktikën e ndërtimit mund të zvogëlojë ndjeshëm impaktin e tyre mjedisor.

[Hopkins et al., 2002], bën një krahasim të kostos së përdorimit të agjentëve kimikë në stabilizimin e nënshtresave rrugore, për projekte autostradash të mëdha, me rastin kur nuk u përdorën agjentë kimikë. Kështu, stabilizimi paraprak i nënshtresave me çimento, gëlqere të shuar, skorje të furnaltave dhe hi qymyror bëri të mundur zvogëlimin e trashësisë së asfaltit, çka e uli koston e përgjithshme në mënyrë të konsiderueshme. Sipas këtij studimi, paratë e kursyera luhaten nga \$0.48 në \$1.68 për metër katror për projekte të ndryshme. Në përdorimin e çimentos si agjent stabilizues, kostoja mesatare u ul me \$0.8 për metër katror, në përzierjen me gëlqeren e shuar u ul me \$1.3 për metër katror, për skorjet e furnaltave u ul me \$1.5 për metër katror dhe për hirin qymyror me \$1.0 dollar për metër katror. Duke marrë në konsideratë uljen e kostos për kilometër të rrugës, vihet re një ulje domethënëse që varion nga \$6360 në \$22035 për çdo kilometër. Kështu, përdorimi i çimentos, gëlqeres, skorjeve dhe hirit qymyror e uli respektivisht koston me \$13,930, \$9,372, \$16,080 dhe \$10,985 për kilometër, kur bëhet fjalë për një karrexhatë me gjerësi 118 metra.

Siç mund të vihet re, përdorimi i agjentëve kimikë në industrinë e ndërtimit të rrugëve e ul koston e punimeve në mënyrë të konsiderueshme. Kostot e agjentëve kimikë variojnë, megjithëse lloji dhe sasia e agjentit që do përdoret në çdo rast varet nga një sërë faktorësh që kanë të bëjnë me karakteristikat e dheut, faktorët klimatikë etj., si dhe me efektin dhe shkallën e performancës që kërkohet të arrihet. Këto aspekte do të analizohen në kapitullin në vijim.

## 2.4 Aplikimi *in-situ* i teknikave të përmirësimit të dherave

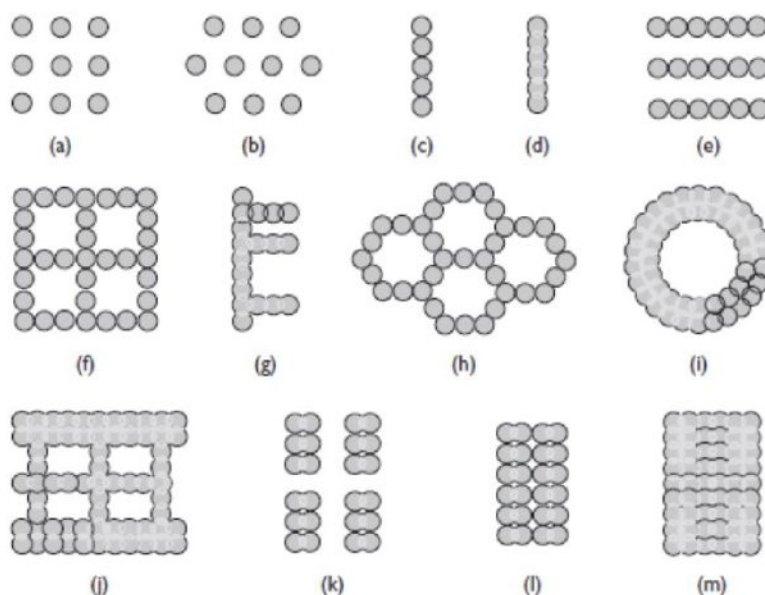
### 2.4.1 Metodatat *in-situ*

Përdorimi i metodave *in-situ* të përzierjes së dherave me agjentë kimikë ka gjetur një aplikim të konsiderueshëm në disa vende të botës, megjithëse në vendin tonë zbatueshmëria e saj ka qenë mjaft e kufizuar, siç u përshkrua në Kapitullin 1. Agjentët që përdoren më shpesh janë çimentoja dhe gëlqerja në dhera si argjila, pluhura dhe rëra të imëta. Teknika konsiston në dy metoda bazë: Metodën e Përzierjes në Sipërfaqe (*Shallow Mixing Method*) dhe në Metodën e Përzierjes në Thellësi (*Deep Mixing Method*).

Metoda e parë (SMM), siç kuptohet edhe nga emri, ka të bëjë me përzierjen e pjesës sipërfaqësore të shtresës së dheut deri në thellësinë 1.5-2 m me agjentë të ndryshëm kimikë, për përmirësimin e vetive fiziko-mekanike të tij duke sjellë rritjen e rezistencës në prerje dhe aftësisë mbajtëse, uljen e deformimit dhe të ujëpërshkueshmërisë etj. Ajo përdoret shpesh në optimizimin e shtresave rrugore, në bazamentet ku do vendosen themele të cekëta, për stabilizimin e argjinaturave dhe në digat me mbushje dheu. Kjo metodë që shërben si alternativë ndaj gërmimit dhe zëvendësimit të shtresës, apo mënyrave të ndryshme të stabilizimit, kombinon përzierjen me agjentë kimikë me procesin e ngjeshjes së shtresës në terren me anë të rulave apo vibratorëve për të arritur shkallën maksimale të kompaktësimit dhe qëndrueshmërinë e kërkuar.

Metoda tjetër (DMM) ka pasur përdorim më të gjerë. Sipas kësaj metode realizohet injektimi i gëlqeres apo çimentos dhe përzierja me dheun në thellësitë nga 3 m deri në 50 m, duke krijuar një strukturë kolonash që ofrojnë stabilitet dhe bëjnë të mundur shpërndarjen e ngarkesës në formacione më të qëndrueshme. Në këtë rast kemi të bëjmë me tjetërsimin e dheut në përzierje me agjentin kimik (që përbën kolonën) por edhe me shtrirjen e ndikimit të agjentit kimik në një rreze të caktuar përtej perimetrit të kolonës, duke bërë të mundur ndërthurjen uniforme mes kolonave dhe shtresës së dheut ku ato janë vendosur. Ato vendosen në formacione të ndryshme, në varësi të funksionit që pritet të kryejnë, si në Figurën 2.10:

Kolonat e shpërndara në formacionet e mësipërme nuk kanë për qëllim të funksionojnë si pilota që mbajnë të gjithë ngarkesën që vjen nga mbistruktura, por të mundësojnë shpërndarjen e ngarkesës nëpërmjet bashkëveprimit me dheun përreth. Formacionet e shpërndarjes së kolonave përcaktohen nga funksioni stabilizues që ato do të kryejnë. Përcaktimi i llojit të përzierjes varet nga kushtet e terrenit dhe nga efekti që kërkohet të arrihet. Përzierja me gëlqere apo çimento mund të kryhet në gjendje të thatë ose në prani të ujit,



**Figura 2.10:** Formacionet e ndërtimit të kolonave në metodën DMM ([Moseley & Kirsch, 2004])

në varësi të gjendjes së dheut *in-situ* dhe sasisë së ujit në pore. Kështu DMM mund të aplikohet sipas dy mënyrave: përzierje me ujë dhe përzierje e thatë.

### 2.4.2 Përzierje me ujë në aplikimin e DMM

Kjo teknikë nënkupton përzierjen e agjentit stabilizues me ujë dhe kthimin në një brumë të lëngshëm i cili injektohet në tokë. Fillimisht ndodh procesi i shpimit deri në thellësinë e parashikuar ku do arrijë kolona dhe më pas gjatë tërheqjes së sondës ndodh injektimi i brumit të lëngshëm njëkohësisht me përzierjen me dheun e pranishëm. Gjatë fazës së parë, pra fazës së shpimit, ndodh shkatërrimi i strukturës së dheut duke ekspozuar kështu materialet që marrin pjesë në reaksionet kimike. Avancimi i sondës me kokën rrotulluese që gërmon dheun kryhet me një hap prej 100 mm për rrotullim.

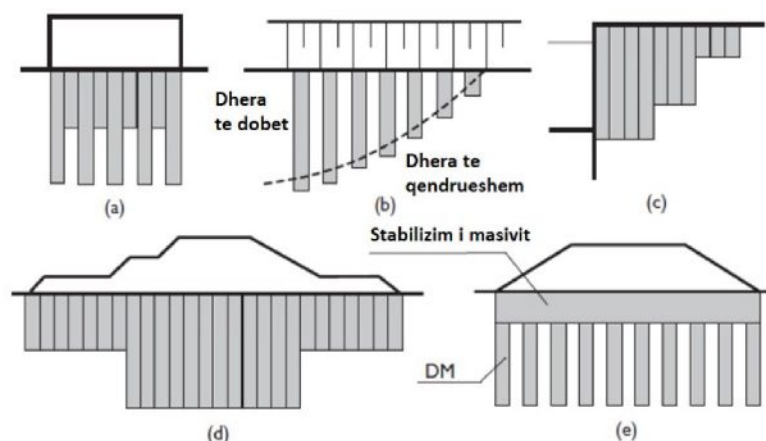
Gjatë fazës së injektimit dhe përzierjes, agjenti stabilizues fillimisht injektohet nga një vrimë sipër kokës metalike të përzierjes. Më pas ai shpërhapet ndërmjet grimcave të dheut që gjatë procesit shpëputen nga njëra-tjetra dhe përzihen deri sa brumi me dheun të përbëjnë një masë relativisht homogjene. Në vazhdim ndodh spërkatja me ujë që mundëson ndërthurjen e grimcave të agjentit me grimcat e dheut. Grimcat më të mëdha të dheut thërmmohen në copa më të vogla çka sjell një shkallë më të lartë homogjeniteti. Faza e fundit e këtij



procesi, pas ndërtimit të kolonës, në rastin kur agjenti i përdorur është gëlqere lidhet me shpërhapjen e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  të tretur i cili përhapet përreth kolonës në përqendrim me të ulëta dhe reagon me mineralet pucolanike. Kështu efekti stabilizues i kolonës së gëlqeres shpërndahehet në një rreze të caktuar edhe përtej perimetrit të kolonës. Kjo gjë nuk ndodh në rastin kur përdoret çimento.

### 2.4.3 Përzierje e thatë në aplikimin e DMM

Procedura e mësipërme është shumë e ngjashme me procedurën e thatë të përzierjes. Kjo e fundit aplikohet në dhera të cilat kanë vlerë të lartë të parametrit të lagështisë e cila është e mjaftueshme për të përfutur përzierjen homogjene me grimcat e dheut të përshkruar më lart. Në mungesë të lagështisë, për shembull për dhera rërorë me lagështi të ulët, rezistenca e përfutur nga përzierja do jetë e vogël. Në dherat e butë me ndjeshmëri të lartë, prishja e strukturës së grimcave gjatë procesit të shpimit mund të shkaktojë ulje drastike të rezistencës. Për këtë arsye procesi i shpimit shoqërohet me spërkatje me agjent stabilizues.



**Figura 2.11:** Aplikime të ndryshme të kolonave me gjatësi të ndryshme (përshtatur nga [Moseley & Kirsch, 2004])

### 2.4.4 Roli i kolonave në DMM

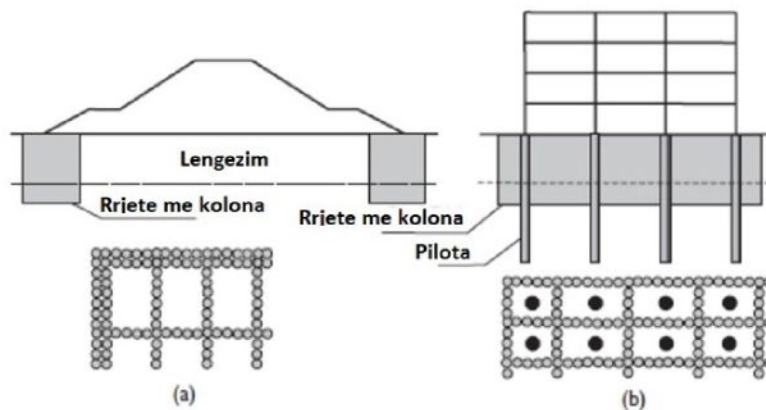
Metoda e përzierjes në thellësi (DMM) ka një seri mënyrash zbatimi në terren për funksione të ndryshme. Këtu, sipas [Moseley & Kirsch, 2004], mund të përmenden:

- Për themele të thella dhe të cekëta: arsyeja kryesore për përdorimin e kolonave me çimento apo gëlqere është minimizimi i uljeve dhe rritja e aftësisë mbajtëse. Funkzioni i tyre është ose përçimi i ngarkesës në një shtresë të qëndrueshme në thellësi, ose shpërndarja uniforme e saj në dheun poshtë themelit. Në rastin e dytë, rëndësi parësore nuk ka rezistenca e vetë kolonës sesa bashkëveprimi mes kolonës dhe dheut që e rrethon.
- Për mure dhe struktura mbajtëse: në këtë rast kolonat luajnë rolin e strukturave mbrojtëse ndaj presionit anësor të ushtruar nga dherat në raste gërmimesh etj. Për shkak të rolit që duhet të luajnë, në përgatitjen e kolonave përcaktohen një diametër i cili siguron një tolerancë të pranueshme të përkuljes së kolonës. Gjithashtu aspekte që lidhen me rezistencën në prerje të kolonës dhe homogjenitetin e saj janë shumë të rëndësishme në përgatitjen e tyre.



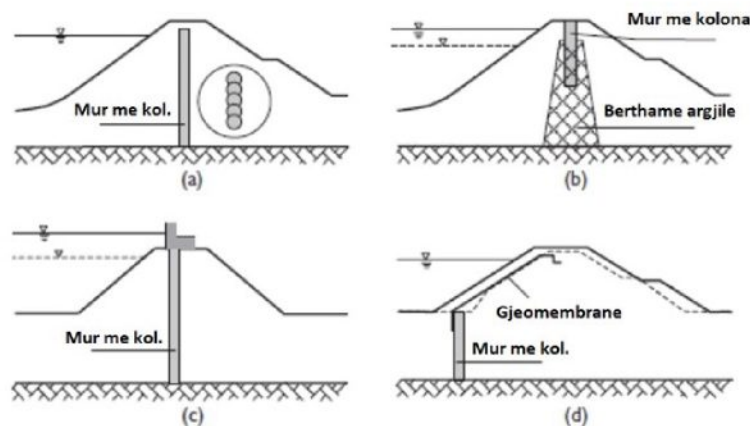
**Figura 2.12:** Raste të përdorimit të kolonave me çimento apo gëlqere si struktura mbështetëse kundër presionit anësor të dherave (përshtatur nga [Makusa, 2012])

- Zvogëlimin e mundësisë së lëngëzimit: efektiviteti i DMM në parandalimin e dukurisë së lëngëzimit në dhera rërorë të ngopur me ujë dhe densitet relativ me të madh se 50%. Në Figurën 2.13 tregohet ndarja që i bëhet shtresës me potencial të lartë lëngëzimi nëpërmjet kolonave. Formacionet "qelizore" të vendosjes së kolonave bëjnë të mundur izolimin e këtyre zonave, çka shmang deformimet e mëdha dhe rritjen e presionit të ujit në pore në rastin e një eventit sizmik. Në këtë mënyrë, fenomeni i lëngëzimit nuk shtrihet në të gjithë shtresën duke amplifikuar ndikimin e tij, por kufizohet në zona të vogla ku përforcimi me kolona e shuan këtë efekt.
- Për barriera kundër lëvizjes së ujit: në këto raste këto struktura përdoren në dhera me ujëpërshkueshmëri të lartë me qëllim kufizimin e lëvizshmërisë



**Figura 2.13:** Formacioni qelizor i izolimit të pilotave kundër efektit të lëngëzimit (përshtatur nga [Moseley & Kirsch, 2004])

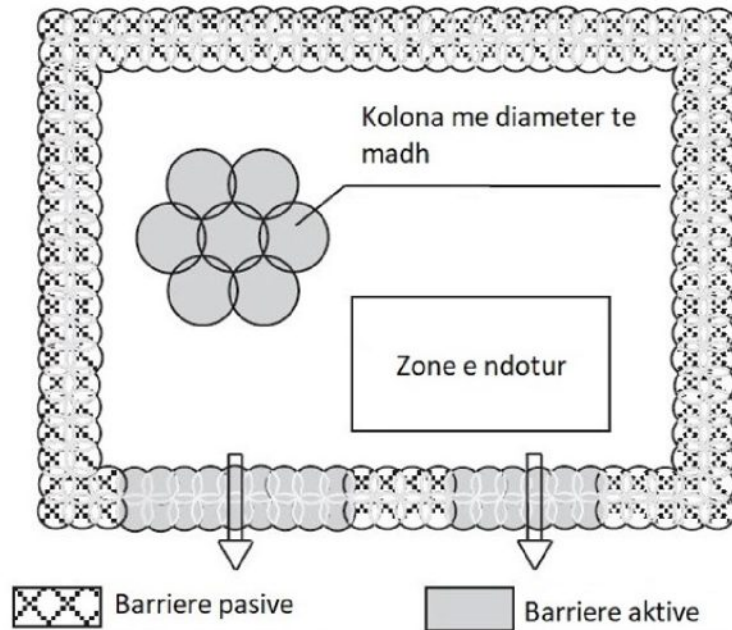
së ujit. Raste tipike janë digat me mbushje, argjinaturat etj. Për funksionin që kryejnë, kujdes i veçantë duhet treguar me koeficientin e filtrimit të mureve që ndërtohen. Kështu një kolonë e zakonshme e përfutur me DMM e ka rezistencën në shtypjen njëboshtore nga 0.5-3 MPa dhe koeficient filtrimi deri në  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  m/s. Me shtimin e hirit qymyror në përzierje, koeficienti i filtrimit mund të ulet në  $10^{-9}$ - $10^{-10}$  m/s.



**Figura 2.14:** Përdorimi i strukturave DMM si barriera kundër lëvizjes së ujit (përshtatur nga [Moseley & Kirsch, 2004])

- *Për parandalimin e dëmit mjedisor:* roli i mureve të formuara me DMM në këtë rast është që të krijojnë një barriera perimetrale përreth zonave të

ndotura duke mos lejuar përhapjen e agjentëve ndotës nëpërmjet ujërave nëntokësore. Barrierat që ndërtohen ndahen në pasive dhe aktive. Ato pasivet luajnë të njëjtin rol si tek digat, duke ndaluar lëvizshmërinë e ujit, teksa barrierat aktive kanë koeficient më të lartë filtrimi, duke shërbyer si filtra apo si sita që lejojnë depërtimin e ujit por jo depërtimin e lëndëve ndotëse për mjedisin.



**Figura 2.15:** Izolimi i zonave të ndotura përmes metodës DMM (përshtatur nga [Moseley & Kirsch, 2004])

## Kapitulli 3

# Materialët dhe procedurat e provave

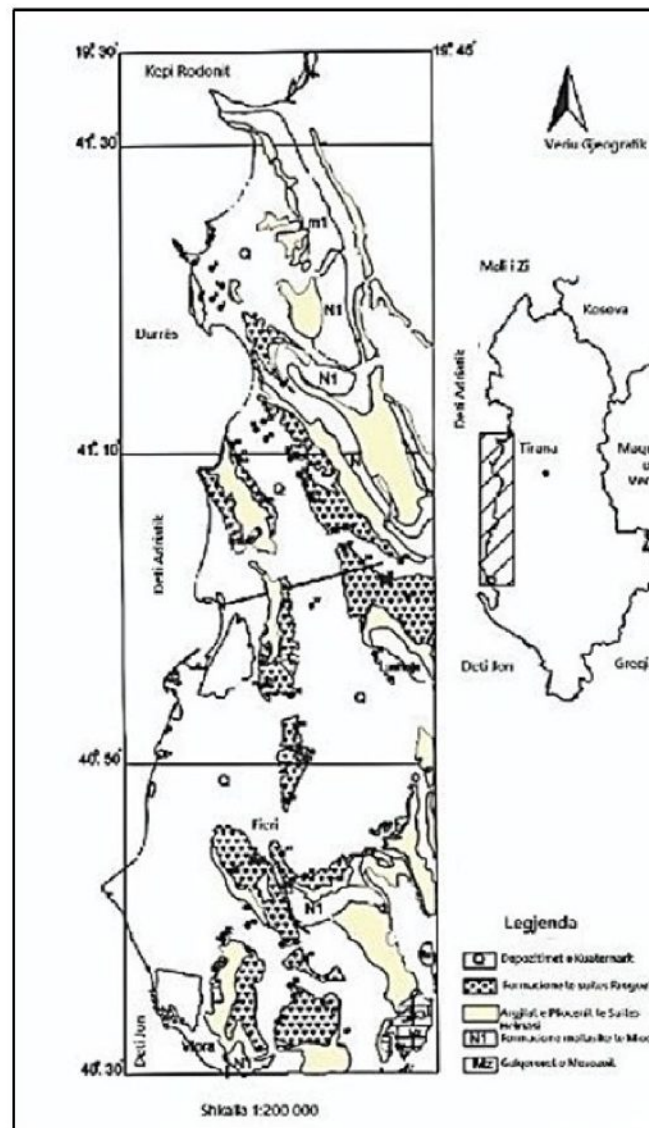
### 3.1 Argjilat e Pliocenit të poshtëm

#### 3.1.1 Burimi dhe problematika

Materiali i dheut që u mor në analizë në këtë disertacion përbëhet nga depozitime të Pliocenit të poshtëm ( $N^1_2h$ ). Sa i përket karakteristikave problematike të këtij materiali - që do ta kategorizonin atë si dhe me veti të dobëta fiziko-mekanike - ato kanë të bëjnë kryesisht me aftësinë e tij të bymimit dhe ndryshimin e vëllimit në mënyrë ciklike. Materiali sipërfaqësor i shkrifëruar i argjilave të zonës së Currilave në Durrës u përdor në analizat laboratorike të kryera në vijim, duke u përzier me agjentët e ndryshëm stabilizues për të analizuar efektet që ato kanë mbi vetitë e argjilës.

Siç tergohet në Figurën 3.1, argjilat e Pliocenit të cilat janë formacione të Suitës së Helmësit sipas [Shallo et al., 2002], takohen përgjatë Ultësirës Adriatike (zonat me ngjyrën e verdhë) dhe arrijnë një trashësi deri në 1200 metra. DysHEMEJA e tyre përbëhet nga shtresa ranorësh dhe konglomeratesh të pangopur me ujë që variojnë në trashësi nga 250 metra në zonën e Currilave në Durrës deri në 15-20 metra në Divjakë, ndërkohë që sipër tyre depozitohen argjila dhe shtresa argjiloro-ranore me trashësi deri në 500 metra. Shtresa e argjlave ka ngjyrë gri hiri në të kaltër, e cila në trajtën e shkëmbit rrënjësor shfaqet në gjendje të mbikonsoliduar dhe pa ujë. Megjithatë, gjatë sezonit të reshjeve kur këto formacione bien në kontakt me ujin ato kanë tendencën të bymehen, teksa gjatë sezonit të thatë ato pësojnë tkurrje të vëllimit. Ndryshimi i vëllimit të argjilave është një fenomen që shkakton probleme të ndryshme inxhinierike në raport me strukturat që vendosen mbi këto formacione, por edhe për vetë stabilitetin e tyre të vendosura në shpate me pjerrësi të lartë.





**Figura 3.1:** Paraqitje e shpërndarjes së formacioneve të argjilave të Pliocenit të poshtëm në Ultësirën Perëndimore (përshtatur nga [Luzati, 2017])

Procesi i ardhjes në kontakt me ujin dhe më pas i tharjes, shoqërohet me zhvillimin e një sistemi çarjesh i cili e shkatërron strukturën e grimcave duke e ulur ndjeshëm qëndrueshmërinë e dheut. Ky sistem çarjesh infiltron nga uji në brendësi duke i thelluar ato me përsëritjen e sezoneve të reshjeve dhe duke e prishur strukturën fillestare të grimcave. Në Figurën 3.2 mund të vihet re sistemi i çarjeve të zhvilluara në strukturën e argjilës në Kodrën e Currilave në Durrës, ku gjatë muajit dhjetor bien mesatarisht rreth 120 mm reshje shiu

([Pumo et al., 1990]). Sistemi i çarjeve bën që edhe në kohë të thatë, pjesa në brendësi e materialit të ruajë lagështinë. Nga figura vihet re se edhe pse pjesa e sipërfaqes paraqitet e thatë, në brendësi dallohet qartë prania e ujit. Zhvillimi i këtij sistemi çarjesh rezulton të jetë faktori kryesor shkaktar për humbjen e qëndrueshmërisë së shpatit në këtë zonë, një fenomen ky që përsëritet çdo vit. Kampionët e përdorur për kryerjen e provave janë mbledhur përgjatë kodrës së Currilave, në zonën e studimit të ilustruar në hartën gjeologjike të zonës së Durrësit, të treguar në Shtojcën nr.1.



**Figura 3.2:** Paraqitje e gjendjes së argjlave in-situ: (majtas) edhe pse e thatë në sipërfaqe, në brendësi përmban ujë; (djathtas) zhvillimi i sistemit të çarjeve në faqen vertikale të shpatit

Qasja që propozohet në këtë studim për stabilizimin e kodrës argjilore të Pliocenit, por edhe të dherave me karakteristika të ngjashme me to, bazohet te trajtimi i tyre me agjentë kimikë të cilët do ndryshojnë parametrat e tyre fizike dhe ato të qëndrueshmërisë, sidomos ato që lidhen me problematikën e shkaktuar nga bymimi. Efektshmëria e këtyre përzierjeve u testua, siç paraqitet në vijim, nëpërmjet një numri provash laboratorike dhe analizash të ndryshme. Kështu, u analizua ndikimi i agjentëve kimikë në ndryshimin e kufijve të rrjedhshmërisë, plasticitetit dhe treguesit të plasticitetit, si indikatorë të sjelljes plastike të argjilës në kontakt me ujin. Gjithashtu u analizua ndikimi që ato kanë te aftësia e byimit të argjlave, si komponenti kryesor i tyre nga i cili derivojnë problemet inxhinierike. Sistemi i çarjeve që zhvillohet në argjila për shkak të kontaktit me ujin u analizua në laborator me provën e cikleve të lagies dhe të tharjes për argjilat e trajtuara me agjentë kimikë dhe ato të patrajtuara. Ndër provat më të rëndësishme sa i përket qëndrueshmërisë

së dherave, sidomos në inxhinierinë e rrugëve, është prova e rezistencës në shtypjen njëboshlore, për të cilën gjithashtu u analizua përzierja e dheut me agjentë kimikë për kampionë të ngjeshur sipas parametrave optimalë. Bazuar në rezultatet e nxjerra, u bë një analizë e rezistencës në kushtet pa drenim sipas formulave empirike të marra nga literatura. Në fund u analizua rasti i shpatit në kodrën e Currilave, për të cilin u krye një rilevim topografik i zonës së studimit dhe u krye monitorimi i zhvendosjes që pëson shpati përmes matjeve dhe duke përdorur fotografi ajrore.

### 3.1.2 Parametrat fizike, vetitë plastike, konsistenca dhe përbërja granulometrike

Për përcaktimin e karakteristikave fizike të argjilave, u përdorën katër mostra të mbledhura në katër pika të ndryshme përgjatë pjerrësisë në zonën e Currilave, që përfaqësojnë gjendje të ndryshme të konsistencës dhe të strukturës së dheut. Kështu, mostrat 1 dhe 2 (Tabela 3.1) përfaqësojnë material me strukturë të paprishur që është mbledhur në thellësinë deri 0.5 metra nga sipërfaqja, respektivisht në majë dhe në fund të shpatit. Mostrat 3 dhe 4 përfaqësojnë material me strukturë të prishur pranë sipërfaqes, i cili është zhvendosur përgjatë planit të rrëshqitjes në formën e rrjedhjes së materialit me pëmasa të ndryshme, të ngopur me ujë (*debris flow*). Për secilën mostër u kryen prova me dy ose më shumë kampionë.

Në Tabelën 3.1 përmbledhen karakteristikat fizike të nxjerra nga provat e kryera mbi argjilat e Pliocenit. Klasifikimi i dheut u krye sipas procedurave të specifikuara në standardin e Unified Soil Classification System ([ASTM D422-63]), ku nga prova me sita dhe me hidrometër u morën grafikët e kurbave granulometrike të treguara në Figurën 3.3. Mbi 95% e fraksionit rezultoi material kokërrimët, nga i cili 30-36% është material koloidal (me diametër më të vogël se 2 mikron). Grafiku i plasticitetit (Figura 3.5) e karakterizoi materialin për tre mostra si argjilë me plasticitet të lartë (CH) dhe për një mostër si argjilë me plasticitet të ulët (CL).

Për llogaritjen e kufijve të Atterberg-ut u përdorën procedurat e përcaktuara sipas standardeve të ASTM (American Society for Testing and Materials). Kufiri i plasticitetit u përcaktua me procedurën standarde të fitilave të dheut me diametër 3 milimetra sipas [ASTM D4318-17], ndërsa kufiri i rrjedhshmërisë u përllogarit me dy mënyra: me aparatën e Casagrande-s dhe me metodën e rënies së konit (*fall cone test*) sipas [BS EN ISO 17892-6:2017]. Nga këto procedura rezultoi se kufiri i rrjedhshmërisë për argjilën luhatet në vlerat 46-62%, teksa kufiri i plasticitetit në vlerat 20-25%.



| Karakteristikat fizike                   | Mostra 1 | Mostra 2 | Mostra 3 | Mostra 4 |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| % e fraksionit të imët                   | >95      | >95      | >95      | >95      |
| % e fraksionit koloidal                  | 35       | 32       | 30       | 36       |
| Klasifikimi sipas USCS                   | CH       | CH       | CL       | CH       |
| Kufiri i rrjedhshmërisë (%)              | 62       | 56       | 46       | 55       |
| Kufiri i plasticitetit (%)               | 25       | 21       | 20       | 24       |
| Treguesi i plasticitetit                 | 37       | 35       | 26       | 31       |
| Treguesi i konsistencës                  | 1.35     | 1.31     | 0.65     | 0.90     |
| Aktiviteti                               | 1.1      | 1.1      | 0.9      | 0.9      |
| Pesha vëllimore (g/cm <sup>3</sup> )     | 1.97     | 1.95     | 1.92     | 1.94     |
| Lagështia natyrore (%)                   | 12       | 10       | 29       | 27       |
| Pesha specifike (g/cm <sup>3</sup> )     | 2.72     | 2.75     | 2.75     | 2.74     |
| Pesha vëll. e thatë (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.76     | 1.77     | 1.49     | 1.53     |
| Poroziteti (%)                           | 35.3     | 35.5     | 45.9     | 44.2     |
| Treguesi i porozitetit                   | 0.55     | 0.55     | 0.85     | 0.79     |
| Lagështia e ngopjes (%)                  | 20.1     | 20.0     | 30.8     | 29.0     |
| Grada e lagështisë                       | 0.60     | 0.50     | 0.94     | 0.93     |

Tabela 3.1: Karakteristikat fizike të katër mostrave të argjilës

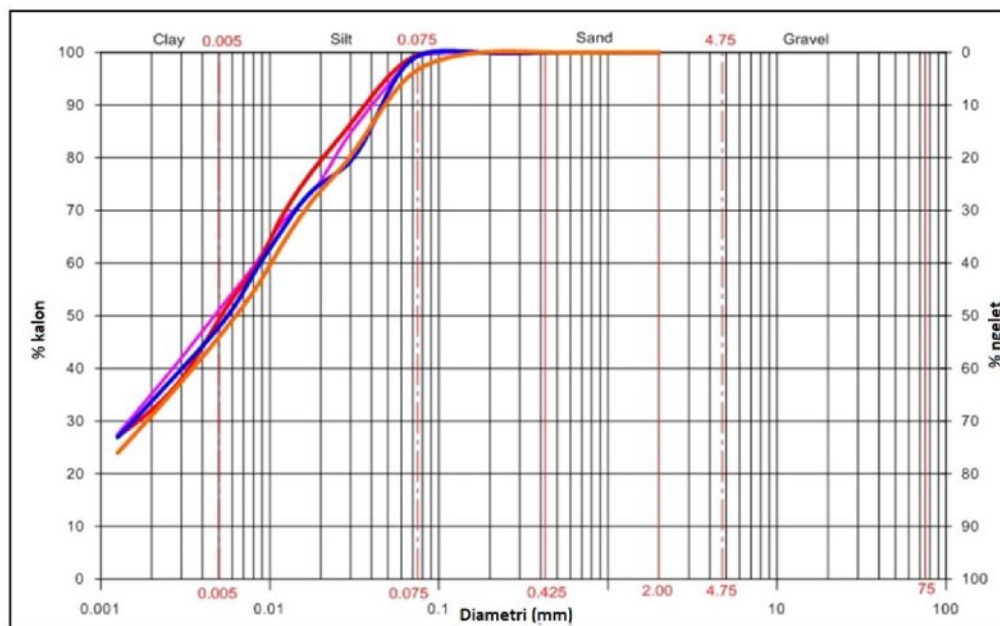


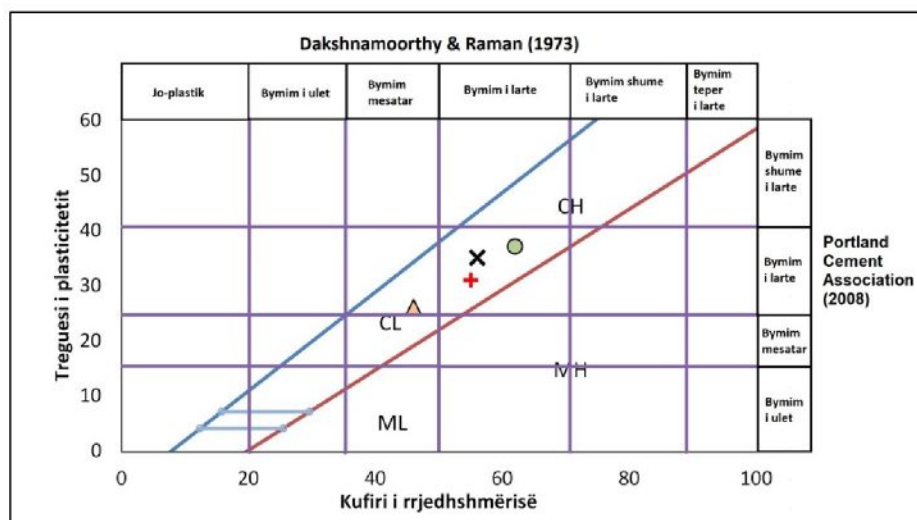
Figura 3.3: Kurbat granulometrike për katër mostrat e argjilës

Aktiviteti i argjilave u përcaktua sipas [Skempton, 1953] me vlera që luhateshin nga 0.9 në 1.1, duke e kategorizuar dheun argjilor si material me aktivitet normal bymimi (brenda kufirit 1.25-0.75). Autori i karakterizon këto lloj dherash si argjila të depozitimeve detare, në të cilat mbizotëron minerali argjilor i ilitit. Referuar Tabelës 2.1, këto vlera i korrespondojnë pranisë së ilitit (0.5-1.2) si minerali argjilor kryesor në përbërjen e argjilës. Treguesi i konsistencës rezultoi më i lartë për mostrat 1 dhe 2 me strukturë të paprishur, me vlera 1.35 dhe 1.31. Për vlera më të mëdha se 1 të këtij treguesi, konsistenca paraqitet si në gjendje të ngurtë ose gjysmë të ngurtë, çka ilustron edhe në Figurën 3.4. Për mostrat 3 dhe 4 me strukturë të prishur, të mbledhur përgjatë sipërfaqes së rrëshqitjes, vlerat respektive ishin 0.65 dhe 0.90.



**Figura 3.4:** Paraqitje e argjilës në kodrën e Currilave: (sipër majtas) zhvendosje e murit mbajtës anësor si pasojë e tendencës së bymimit; (poshtë majtas) argjila rrënjësore; (djathtas) argjila e tjetërsuar që përbën trupin rrëshqitës.

Parametrat fizike të peshës vëllimore, lagështisë natyrore dhe peshës specifike u përcaktuan bazuar në standardet e ASTM. Peshë specifike u llogarit duke përdorur piknometra me vëllim 250 ml dhe duke e larguar ajrin nga poret me procedurën e vlimit. Vlerat laboratorike të parametrave, siç tregohet në Tabelën 3.1, luhaten nga 1.92-1.97 g/cm<sup>3</sup> për peshën vëllimore, 10-29% për lagështinë natyrore dhe 2.72-2.75 g/cm<sup>3</sup> për peshën specifike. Parametrat e tjera fizike u llogaritën nga formulat e relacioneve duke u bazuar te këto tre parametra. Siç tregohet në tabelë, mostrat 3 dhe 4 (me strukturë të prishur) shfaqin vlera më të larta të parametrat të lagështisë natyrore për shkak se janë



**Figura 3.5:** Vlerësimi i aftësisë së bymimit të argjilës së Currilave sipas skemave të propozuara nga [Dakshanamurthy & Raman, 1973] dhe [PCA, 2008]

të shkrifëruar. Po ashtu poroziteti dhe grada e lagështisë janë më të lartë sesa mostrat 1 dhe 2 (me strukturë të paprishur), për të cilët vlerat e parametrave të peshës vëllimore janë më të larta.

Në Figurën 3.5 paraqitet një vlerësim paraprak i potencialit të bymimit të argjilës. Në grafikun e plasticitetit, në të cilin janë hedhur pikat për katër mostrat nga rezultatet e tregura të tabelës më sipër, është bërë një ndarje që karakterizon aftësinë e bymimit bazuar në vlerat e kufirit të rrjedhshmërisë, sipas [Dakshanamurthy & Raman, 1973], dhe asaj bazuar në vlerat e treguesit të plasticitetit, sipas [PCA, 2008]. Siç mund të dallohet në grafik, tre nga katër vlerat e mostrave pozicionohen në katërkëndëshin që formohet në qendër të grafikut, çka i karakterizon ato me aftësi të lartë bymimi sipas të dyja metodave. Vetëm mostra nr.3 kategorizohet si me aftësi mesatare bymimi sipas autorit të parë dhe me aftësi të lartë bymimi sipas të dytës. Ky rezultat i përshtatet edhe vlerave të përfuara nga parametri i Aktivitetit, të përshkruara më sipër.

### 3.1.3 Analiza kimike dhe mineralogjike

Analizat kimike për përcaktimin e oksideve në përbërjen e argjilës dhe të agjentëve kimikë stabilizues u kryen sipas provës spektrometrike të fluoreshencës me rreze-x (XRF) me metodën *fusion bead*. Në këtë mënyrë u bë e mundur përcaktimi sasior i përbërësve kimikë që do hyjnë në reaksion

për të përfutur komponime të cilat do ndikojnë në ndryshimin e karakteristikave të argjilës dhe rritjen e qëndrueshmërisë së saj. Në rastin e argjilës, siç tregohet në Tabelën 3.2, rezulton se përmbajtja e oksidit të kalciumit është vetëm 10.56%, teksa përqindja e dyoksidit të silicit zë pjesën më të madhe me 46.93%. Kjo nënkupton se furnizimi me CaO përmes çimentos apo gëlqeres, në kushte të përshtatshme, do krijonte komponimet CSH, siç është përshkruar në Kapitullin 2. Prania e SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dhe Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> te argjilat në përgjithësi, bën të mundur zhvillimin e reaksioneve pucolanike nga reaksioni i tyre me Ca(OH)<sub>2</sub>, çka përbën një avantazh për argjilat krahasuar me dherat e tjerë, pavarësisht shumë problemeve të tjera që këto formacione shfaqin nga aspekti inxhinierik. Nga ana tjetër, përqindja e SO<sub>3</sub> është mjaft e ulët, me vetëm 0.51%, duke e minimizuar rrezikun e atakut sulfatik, siç u përshkrua në kapitullin paraardhës.

| CaO    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | LOI   |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------|------------------|-------------------|-------|
| 10.56% | 46.93%           | 12.26%                         | 7.01%                          | 5.60% | 0.51%           | 2.40%            | 1.51%             | 12.43 |

**Tabela 3.2:** Analiza kimike e materialit të argjilës

Analiza e përmbajtjes mineralogjike të argjilës u krye nëpërmjet metodës së difraksionit të rrezeve-x (XRD), e cila bazohet te depërtimi i këtyre rrezeve brenda strukturës atomike të kampionit dhe difraksionit të tyre në varësi të llojit të mineralit në përbërjen e dheut. Përbërja e strukturës kristaline të çdo minerali është ndër faktorët kryesorë që përcaktojnë madhësinë e grimcave dhe formën e tyre, si dhe një sërë faktorësh që kushtëzojnë sjelljen fiziko-mekanike të dherave [Tatarniuk, 2014]. Kjo analizë është veçanërisht e rëndësishme për identifikimin e mineraleve nëpërmjet të cilëve mund të analizohet edhe aftësia e dherave për t'u bymyer përmes parametrut të Aktivitetit, si në kapitullin më sipër. Kështu, minerale argjilore si montmoriloniti apo smerciti shfaqin aftësinë më të madhe të bymimit.

Në Shtojcën nr.2 dhe Shtojcën nr.3 tregohen rezultatet e dy provave të difraksionit mbi argjilën, ku rezulton prania e lartë e mineraleve të kuarcit dhe të kalcitit. Sa i përket mineraleve argjilore, nuk rezulton një prani e lartë e montmorilonitit, por e ilitit dhe klinoklorit, të cilat gjithashtu kanë aftësi të lartë të bymimit. Prania e Iilit konfirmon edhe vlerat e parametrut të Aktivitetit të propozuara nga [Skempton, 1953] që paraqiten në Tabelën 2.1, sipas të cilit ky parameter luhetet në vlerat 0.5-1.2, teksa për argjilën e Pliocenit luhateshin në intervalin 0.9-1.1 (Tabela 3.1).



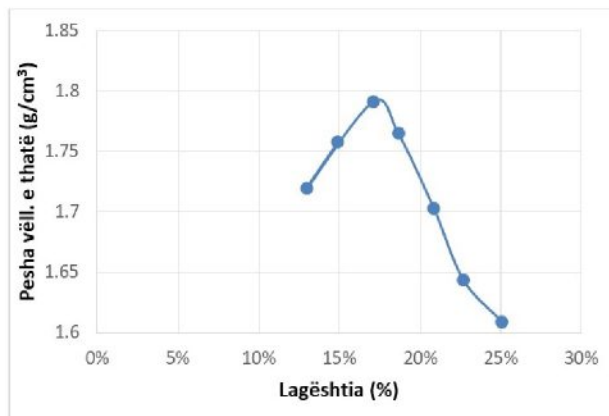


Figura 3.6: Grafiku i ngjeshmërisë për argjilën



Figura 3.7: Aparati Proctor

### 3.1.4 Karakteristikat e ngjeshjes

Prova e ngjeshjes në fushën e studimit të stabilizimit të dherave me agjentë kimikë është e një rëndësie të veçantë pasi kompaktësimi i dheut të trajtuar është një procedurë e përdorur në mënyrë standarde në këtë proces. Kështu, një numër i konsiderueshëm provash që përshkruhen në vijim u kryen mbi kampionë paraprakisht të ngjeshur maksimalisht. Kampionët e ngjeshur të argjilës së papërzier përbëjnë edhe bazën krahasimore me kampionët e përzier me agjentë kimikë dhe të ngjeshur. Provat e aftësisë së bymimit të argjilave, e rezistencës ndaj cikleve të lagës-tharjes, si dhe provat e rezistencës në shtypjen njëboshore, të gjitha kanë si parakusht ngjeshjen e kampionëve.

Procedura e ngjeshjes ndoqi kushtin [ASTM D698-00] nëpërmjet aparatit Proctor, sipas së cilës lagështia optimale e ngjeshjes dhe vlera maksimale e parametrit të peshës vëllimore të thatë u përcaktuan për argjilën dhe për pierzierjet e saj me agjentët kimikë. Nga prova e ngjeshmërisë rezultoi se lagështia optimale e argjilës ishte 17.08% dhe për të u arrit pesha vëllimore e thatë maksimale me vlerën 1.79 g/cm³. Grafiku i nxjerrë nga kjo provë rezultoi të jetë në formë kambane (*bell-shaped*), çka tregon se me luhatjen e sasisë së ujit në pore, ndryshon ndjeshëm edhe dendësia (shkalla e ngjeshmërisë) së kampionit, çka rezulton në ndryshimin e vëllimit. Grafiku i provës dhe aparatit Proctor tregohen në Figurat 3.6 dhe 3.7.

## 3.2 Çimentoja dhe gëlqerja

Materialet kryesore për stabilizimin e argjilës përmes reaksionit të hidratimit janë çimentoja dhe gëlqerja. Për këtë studim u përdorën produkte të dy

materialeve që gjenden gjerësisht në treg dhe përdoren në industrinë e ndërtimit. Kështu, tipi i çimentos së përdorur është CEM II/B-LL 32.5R sipas kushtit [BS EN 197-1:2011], me rezistencë maksimale  $>32.5$  MPa pas 28 ditësh, ndërsa gëlqerja e përdorur ishte në trajtë pluhuri (e pa shuar). Për të dyja këto produkte u krye analiza kimike me metodën *fusion bead*, rezultatet e të cilës tregohen në Tabelën 3.3:

| Oksidet e pranishme            | Çimento | Gëlqere |
|--------------------------------|---------|---------|
| CaO                            | 61.69%  | 74.45%  |
| SiO <sub>2</sub>               | 14.68%  | 0.73%   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.87%   | 0.34%   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.44%   | 0.12%   |
| MgO                            | 1.74%   | 0.67%   |
| SO <sub>3</sub>                | 2.54%   | 0.12%   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.46%   | 0.04%   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.18%   | 0.02%   |
| LOI                            | -       | 22.4    |

**Tabela 3.3:** Analiza kimike e çimentos dhe gëlqeres

Siç mund të shihet në tabelë, përqindjet e përbërësve kimikë janë tipikë për këto produkte. Përqindja e oksidit të kalciumit është 61.69% te çimentoja dhe 74.45% te gëlqerja. Vlera e SiO<sub>2</sub> te çimentoja, gjithashtu është në sasi të konsiderueshme, në vlerën 14.68%. Sipas [Taylor, 1990], aftësia për të hyrë në reaksion e agjentëve kimikë rritet në varësi të përqindjes së CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Edhe pse sasia e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> te çimentoja dhe te gëlqerja është e ulët, ajo është e konsiderueshme te argjila (12.26%) dhe te hiri qymyror, siç tregohet në nënkapitullin pasardhës. Ndërkohë, SO<sub>3</sub> takohet në përqindje mjaft të ulëta, përkatësisht 2.54% për çimenton dhe 0.12% për gëlqeren. Këto vlera janë brenda intervalit të kufijve të pranueshëm prej 2.3-4.5% për mënjanimin e atakut sulfatik ([Romman, 2017]).

### 3.3 Hiri qymyror

Hiri qymyror i përdorur si agjent stabilizues u kampionua në ish-termocentralin në zonën e Maliqit në Korçë, në të cilën aktualisht gjenden të depozituara në ambient të hapur tonelata të tëra të këtij nënprodukti. Rreziqet që mund të përbëjnë për ndotjen ambientale dhe për shëndetin e banorëve këto dampa, u trajtuan më sipër në nënkapitullin 2.3.4.1. Në Figurën 3.8 tregohet një kampion i çimentuar i hirit qymyror, pas depozitimit për një kohë të gjatë

në ambient të hapur. Ngjyra e materialit është e kuqërremtë në të zezë, çka dëshmon përmbajtjen e lartë të oksideve të hekurit, ndërkohë tekstura e imët me ngjyrë gri të hapur lidhet me përqindjen e lartë të oksidit të kalciumit ([Meyers et al., 1976]). Materiali i hirit që u përdor në përzierje si agjent kimik stabilizues ishte në gjendje të shkrifët kokrrizore me diametër më të vogël se 4.75 mm.

Përcaktimi i përbërjes kimike me metodën *fusion bead* në rastin e hirit qymyror bën të mundur kategorizimin e tij sipas klasave C dhe F të [ASTM C618-19]. Dallimi kryesor mes klasave C dhe F është prania e oksidit të kalciumit, i cili në rastin e parë (i pranishëm në masën mbi 20%) mund të hyjë në reaksion direkt me materialin pucolanik të pranishëm te hiri qymyror apo te materiali i dheut. Hiri qymyror i kategorizuar si klasa F, nga ana tjetër, në mënyrë që të përdoret në mënyrë të efektshme si agjent kimik stabilizues, ka nevojë për një burim të jashtëm furnizimi me CaO i cili do bëjë të mundur formimin e produkteve të reaksioneve pucolanike që sjellin rritjen e qëndrueshmërisë së dherave ([Ismaiel, 2006]). Në Tabelën 3.4 jepet përmbajtja e oksideve për hirin e përdorur, krahasuar me dy klasat në fjalë:



**Figura 3.8:** Material hiri qymyror i marrë në zonën e Maliqit në Korçë

| Oksidet e pranishme            | Hiri i Maliqit | Klasa C e hirit | Klasa F e hirit |
|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| CaO                            | 3.65%          | 24.3%           | 8.7%            |
| SiO <sub>2</sub>               | 46.90%         | 39.9%           | 54.9%           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.71%         | 16.7%           | 25.8%           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.05%         | 5.8%            | 6.9%            |
| MgO                            | 8.11%          | 4.6%            | 1.8%            |
| SO <sub>3</sub>                | 0.71%          | 3.3%            | 0.6%            |
| LOI                            | 13.11          | 6               | 6               |

**Tabela 3.4:** Krahasimi mes përbërjes kimike të hirit qymyror nga zona e Maliqit dhe klasave C dhe F

Nga rezultatet e treguara në tabelë vihet re përqindja e ulët e oksidit të kalciumit për hirin qymyror të përdorur, në vetëm 3.65%, çka është një vlerë edhe më e ulët se ajo e klasës F. Ky rezultat çon në konkluzionin se hiri qymyror

i përdorur në përzierje nuk mund të përdoret i vetëm pa praninë e çimentos apo të gëlqeres, që do përbënin burimin e hidroksidit të kalciumit. Për më tepër, përqindjet e  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  zënë rreth 71% të totalit, çka përbën një karakteristikë tipike të klasës F të hireve qymyore (ndërkohë që për klasën C kjo vlerë është rreth 50%). Këtu bie në sy përqindja e lartë e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  krahasuar me dy klasat, çka lidhet me ngjyrën e kuqërremtë të materialit.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , nga ana tjetër, është në përqindje më të ulëta se në të dyja klasat. Përqindja e  $\text{SO}_3$  është në nivele tepër të ulëta në vetëm 0.71%, mjaft e ngjashme me kategorinë F, duke e ruajtur kështu të ulët rrezikun e atakut sulfatik. Si përfundim, analiza e përbërjes kimike e kategorizon hirin qymyror të përdorur si mjaft pranë klasës F.

### 3.4 Përgatitja e përzierjeve

Procedura e përgatitjes së përzierjeve të çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror me argilën e Pliocenit ndjek metodikën e përcaktuar nga Shoqata e Çimentos Portland ([PCA, 1992]). Secili prej komponentëve të përzierjes u shkrifërua deri në diametrin më të vogël të grimcave përbërëse; në rastin e argjilës, çimentos dhe gëlqeres, këto grimca kanë diametër që i kategorizon ato si kokërrimët (më të vogël se 0.074 mm), ndërsa hiri qymyror përbëhet nga fraksione që kalojnë nga sita nr.4 sipas klasifikimit USCS (me diametër më të vogël se 4.75 mm), siç u përmend më sipër. Të gjithë përbërësit u thanë në furrë për 24 orë në temperaturën



**Figura 3.9:** Procesi i përzierjes së argjilës me çimento dhe hi qymyror

105 gradë celcius para se të përzireshin. Sasia e agjentëve kimikë që u shtua në përzierje u konsiderua si përqindja e peshës së masës së dheut në gjendje të thatë të argjilës. Për provat e aftësisë së bymimit dhe provat e rezistencës, për të cilat nevojiten kampionë të ngjeshur (kompaktësuar), pas përzierjes së përshtatshme derisa të përftohet një masë relativisht homogjene, shtohet ujë për ta çuar lagështinë në vlerën e saj optimale, siç është përcaktuar nga rezultatet e provës Proctor për çdo përzierje.



Pas procesit të ngjeshjes, gjatë të cilit arrihet vlera maksimale e peshës vëllimore të thatë, kampionët mbështillen me letër polietileni dhe depozitohen në një ambient të posaçëm ku ruhen në temperaturë konstante 20 gradë celsius dhe lagështi relative 98% përgjatë periudhave të ndryshme të maturimit, nga 1, 24, 48 orë, deri në 7, 14 dhe 28 ditë, në varësi të provës.



**Figura 3.10:** Kampioni i ngjeshur dhe i mbështjellë në letër polietileni për procesin e maturimit

### 3.5 Vetitë e plasticitetit

Për të përcaktuar ndikimin e agjentëve kimikë te vetitë plastike të argjilës, kufijtë e Atterberg-ut u përcaktuan pas një procedure të ndjekur siç specifikohet nga ([PCA, 1992]). Fillimisht përzierjeve të ndryshme iu shtua mjaftueshëm ujë. Më pas ato u mbështollën me letër polietileni dhe u depozituan për maturim. Për përzierjet me çimento dhe çimento/hi qymyror, periudha e maturimit ishte 1, 24 dhe 48 orë; kjo pasi çimentoja hyn shpejt në reaksionet e hidratimit, siç u përshkrua në Kapitullin 2. Për përzierjet me gëlqere, për të cilat nevojitet më shumë kohë për të hyrë në reaksion, periudha e maturimit ishte 2, 7, 14 dhe 28 ditë, sipas manualit të PCA. Pas maturimit, masa e çdo përzierjeje u shpëla mbi sitën nr.40 dhe u la në qetësi në mënyrë që grimcat të dekantohen në fund dhe uji i tepërt më pas u largua me kujdes. Në vazhdim, përzierjet u vendosën në furrë për t'u tharë në temperaturën 60 gradë celsius.

Gjatë periudhës së tharjes, për shkak të kësaj vlere temperature relativisht të lartë, në përzierje nuk ndodh procesi i hidratimit, siç tregohet nga [Wang & Liu, 2010]. Pas tharjes, dheu u shkrifërua dhe u bë gati për të kryer provat e plasticitetit. Kufiri i rrjedhshmërisë u përcaktua me metodën e rënies së konit (*fall cone test*) sipas [BS EN ISO 17892-6:2017] dhe kutisë së Casagrande-s, ndërsa kufiri i plasticitetit sipas [ASTM D4318-17].



**Figura 3.11:** Aparati i rënies së konit (majtas) dhe luga e Casagrande-s (djathtas)

### 3.6 Prova e pH-it

Siç u trajtua edhe më herët, autorë të ndryshëm propozojnë përqindje nga më të ndryshmet të agjentëve kimikë në varësi të funksionit dhe performancës që përpiqet të arrihet nëpërmjet përzierjes së dherave. Kështu, rreth 14% përzierje e çimentos/ hirit qymyror me dheun jep rezultate të rëndësishme për përmirësimin e parametrave të projektimit ([Ahnberg et al., 2003]). Nga ana tjetër, për dherat me tendencë bymimi propozohet përdorimi nga 3.5-5% gëlqere ([Akawwi & Al-Kharabsheh, 2002]) deri në 10% ([Ola, 1978]). Një numër procedurash, gjithashtu, janë standardizuar për përcaktimin e përqindjes minimale të nevojshme të agjentëve kimikë për të arritur performancën e dëshiruar. Procedura e ndjekur në këtë punim për përcaktimin e sasisë së agjentëve kimikë që u përdorën, është procedura e cila bazohet te [Eades & Grim, 1966], e standardizuar më pas në [ASTM D6276-99].

Procedura bazohet te arritja e një vlere të pH-it e cila është e domosdoshme në përzierjet e dherave me agjentë kimikë për krijimin e një ambienti të përshtatshëm për zhvillimin e reaksioneve të hidratimit, flokulimit, shkëmbimit të kationeve dhe atyre pucolanike të përmendura më sipër.

Sipas [Eades & Grim, 1966], gjatë reaksionit të gëlqeres me ujin, vlera e pH-it vjen duke u rritur duke i nxitur këto reaksione. Vlera e pH-it e cila synohet të arrihet është 12.4 dhe i njëjti parim është përdorur në këtë punim edhe për çimenton dhe hirin qymyror. Nga sa më sipër, mund të dilet në konkluzionin se prova në fjalë përcakton përqindjen më të vogël të mundshme të çdo agjenti kimik që duhet përdorur në përzierje me dheun e argjilës për krijimin e kushteve të nevojshme të zhvillimit të reaksioneve.

Vlerat e përftuara për sasi të agjentëve kimikë që do përdoren jo detyrimisht janë të mjaftueshme për arritjen e rezistencave të nevojshme nga pikëpamja inxhinierike. Ato janë vetëm vlera orientuese sa i përket ambientit ku do të zhvillohen reaksionet, ndërsa përcaktimi i përqindjeve të agjentëve kimikë që duhen përdorur për arritjen e një performace specifike duhet shqyrtuar rast pas rasti.

Për kryerjen e provës së përcaktimit të pH-it nevojiten 8 shishe plastike me vëllim 150 ml, një sasi e mjaftueshme argjile, çimentoje, gëlqereje dhe hiri qymyror, secila në gjendje të thatë dhe të bluar, ujë i distiluar pa përmbajtje të dyoksidit të karbonit, si dhe një aparat për matjen e vlerës së pH-it të tretësirave. Tharja kryhet në furrë në temperaturën 60 gradë celcius për 48 orë, ndërsa diametri i grimcave duhet të jetë më i vogël se 0.42 mm. Në fillim përcaktohet vlera e pH-it për secilin prej përbërësve veçmas dhe më pas për përzierjet me përqindje të ndryshme. Për këtë provë kombinimet që u morën në konsideratë ishin çimento, gëlqere dhe çimento/ hi qymyror.



**Figura 3.12:** Shisheet me përqindje të ndryshme agjentësh kimikë përzier me argjilën



Procedura e provës së përcaktimit të vlerës së pH është si më poshtë:

1. Brenda çdo shisheje hidhen rreth 20 gramë argjilë.
2. Shtohen përqindjet e agjentit për çdo shishe si 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dhe 8%. Në rastin e kombinimit të çimentos me hirin qymyror, u zgjodh një vlerë nominale 8% për hirin dhe u shtuan përqindje të ndryshme të çimentos.
3. Përzierjet e përgatitura tunden për të siguruar një përzierje uniforme.
4. Çdo përzierjeje në shishe i shtohen 100 ml ujë të distiluar.
5. Tretësira e përfutur në shishe tundet për të paktën 30 sekonda ose derisa të sigurohemi se nuk kanë ngelur grimca në fundin e shishes.
6. Çdo 10 minuta përsëritet i njëjti proces i tundjes së secilës prej shisheve për 30 sekonda. Ky proces zgjat 1 orë.
7. Pas 1 ore, një sasi e përzierjes hidhet në një enë tjetër dhe matet vlera e pH-it nëpërmjet aparatit matës.

Vlera më e ulët e çdo përzierjeje e cila jep vlerën 12.4 të pH-it është vlera e përqindjes së agjentit kimik e cila do të merret në konsideratë në provat që do të kryhen në vijim. Nëse pH-i i përzierjeve nuk e tejkalon vlerën 12.3 dhe dy përqindje të njëpasnjëshme japin të njëjtin lexim, atëherë si vlerë përfundimtare për përzierjen merret përqindja më e ulët që ka dhënë vlerën 12.3.

### 3.7 Aftësia e bymimit

Përcaktimi i aftësisë apo tendencës që kanë argjilat e Pliocenit për t'u bymyer është i një rëndësie të veçantë pasi kjo tendencë është kryesisht përgjegjëse për problematikat inxhinierike që lidhen me këto formacione dherash. Procedura e ndjekur bazohet në [ASTM D4546-14], ku pajisja që përdoret për kryerjen e provës është odometri. Kampionët që përdoren për provën kanë formë cilindrike, 2 cm të lartë dhe me sipërfaqe të bazës 40 cm<sup>2</sup>. Ato nxirren nga kampionë më të mëdhenj të cilët janë ngjeshur paraprakisht në apartin Proctor në kushtet optimale të lagështisë ku arrihet ngjeshmëria maksimale. Prova kryhet si për argjilën e Pliocenit, ashtu edhe për përzierjet e saj me çimento dhe çimento/ hi qymyror. Pas ngjeshjes, kampionët mbështillen me letër polietileni dhe ruhen në temperaturë konstante 20 gradë celcius dhe lagështi relative  $\pm 98\%$  për një periudhë maturimi prej 7 dhe 28 ditësh, siç

e kërkon standardi. Kampioni në përmasat e përshkruara më lart, vendoset brenda një unaze metalike dhe kufizohet nga sipër dhe nga poshtë nga gurë porozë që lejojnë filtrimin e ujit. Unaza e kufizon mundësinë e deformimit anësor të kampionit dhe lejon vetëm deformimin sipas drejtimit vertikal. Sipër kampionit vendoset një kapak metalik nëpërmjet të cilit mund të ushtrohet sforcimi prej 0.25, 1, 2, dhe 4 kg/cm<sup>2</sup>, pasi paraprakisht kampioni në qelizën odometrike është zhytur në ujë. Për çdo ngarkesë të ushtruar mbi kampion, kryhen matje të deformimit që ai pëson - bymym ose konsolidim - për një cikël 24-orësh. Rezultatet e provës paraqiten në grafikë të deformimit për njësi të kohës dhe ngarkesës së ushtruar.

### 3.8 Rezistenca në shtypjen njëboshtore

Rëndësia e provës për përcaktimin e rezistencës në shtypjen njëboshtore të dherave, sipas [Das, 1994], lidhet me përcaktimin e cilësisë së bazamentit ku do të mbështeten themelet, cilësinë e nënshtresave rrugore, të trotuarëve etj. siç tregohet në Tabelën 3.5:

| Rez. në shtypje (kPa) | Cilësia e nënshtresës |
|-----------------------|-----------------------|
| 25-50                 | E butë                |
| 50-100                | Mesatare              |
| 100-200               | E ngjeshur            |
| 200-380               | Sh. e ngjeshur        |
| >380                  | E fortë               |

**Tabela 3.5:** Relacioni mes rezistencës në shtypje dhe cilësisë së nënshtresës ([Das, 1994])

Për përcaktimin e këtij parametri u ndoq procedura e specifikuar në [ASTM D5102-09], sipas së cilës aparati ku kryhet prova është triaksiali, por pa ushtruar presionin në qelizë. Kampionëve të argjilës dhe të përzierjeve me agjentët kimikë çimento dhe hi qymyror, iu shtua uji në sasi optimale, siç rezultoi nga prova e ngjeshmërisë. Më pas kampionët u lanë në qetësi për një periudhë prej dy orësh për të simuluar vonesat që ndodhin zakonisht në ndërtimin e rrugëve gjatë kompaktësimit të nënshtresave. Përzierjet më pas u ngjeshën në aparatën Proctor deri në vlerën maksimale të dendësisë dhe u lanë për maturim për 7 dhe 28 ditë, siç është përshkruar më sipër. Pas përfundimit të periudhës së maturimit, kampionët mbi të cilët do të kryhej prova e shtypjes njëboshtore u përshtatën në përmasa më të vogla në formën e një cilindri me lartësi 76.6 milimetra dhe sipërfaqe baze 11.28 cm<sup>2</sup> që i përshtatet provës së triaksialit. Sipas kushtit teknik në fjalë, raporti i lartësisë me diametrin e kampionit duhet

të luhatet nga 2 deri 2.5 herë, dhe në rastin konkret është 2.02 herë. Prerja e kampionit u krye me një shpejtësi 0.5% deformim i lartësisë për minutë, që në rastin konkret përkthehet si 0.38 mm/min. Kushti teknik specifikon se prova vazhdon deri në këputjen e kampionit dhe rënien e vlerës së rezistencës, ose deri në deformimin me 5% të lartësisë së kampionit, cilado të arrihet e para. Në Figurën 3.13 paraqitet aparati i triaksialit, leximet e të cilit shkarkohen direkt në programin kompiuterik përkatës.

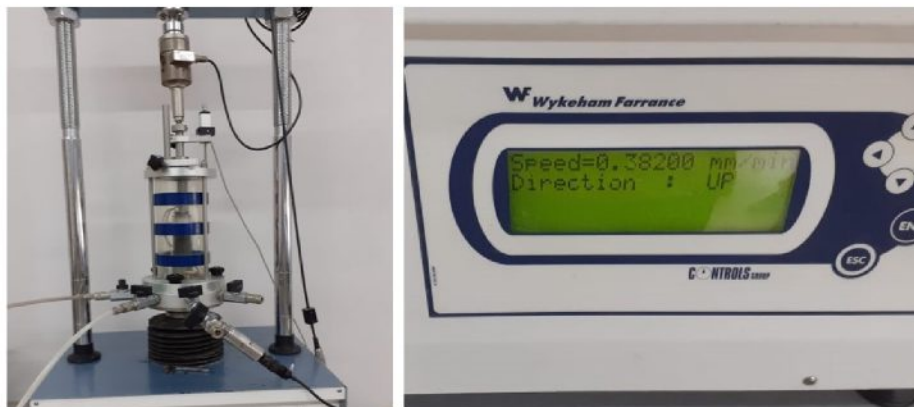


Figura 3.13: Qeliza e aparatit të triaksialit dhe shpejtësia e prerjes së kampionëve

### 3.9 Rezistenca ndaj cikleve të lagies-tharjes

Ndër faktorët e rëndësishëm që ndikojnë në humbjen e qëndrueshmërisë së dherave argjilore është prishja e strukturës së grimcave dhe krijimi i çarjeve që lejojnë depërtimin e ujit gjatë periudhave të reshjeve. Prandaj prova e humbjes së masës për kampionët e ngjeshur si pasojë e cikleve të lagies-tharjes krijon mundësinë e përcaktimit të ndikimit që kanë agjentët kimikë në zvogëlimin e këtij efekti. Procedura e ndjekur i referohet kushtit teknik [ASTM D559-03], sipas së cilit u testuan gjithsej pesë kampionë: kampion argjile në gjendje natyrore (shkëmb rrënjësor), kampion argjile i ngjeshur në vlerën maksimale por i patrajtuar me agjentë kimikë, si dhe kampion argjile i ngjeshur dhe i përzier me çimento, gëlqere, dhe çimento/hi qymyror. Arsyeja e kryerjes së provës mbi kampionin në gjendje natyrore është për të parë efektin fillestar që ka te shkëmbi i argjilës procesi i lagies dhe tharjes. Ndërkohë që efekti i agjentëve kimikë të përdorur në përzierje u krahasua me sjelljen e argjilës së ngjeshur por të patrajtuar. Përmasat dhe forma e kampionëve të ngjeshur janë ato standarde që specifikon prova e ngjeshjes me aparatin Proctor.

Kampionët e përzier me agjentë kimikë sipas standardit, kërkohet të maturohen në kushte temperature dhe lagështie konstante për një periudhë 7-ditore. Pas kësaj kohe, kampioni peshohet dhe fillon cikli i parë me zhytjen e kampionëve në ujë për 5 orë; më pas kampionët futen në furrë në temperaturën 71 gradë celcius dhe lihen të thahen për 42 orë. Më pas nxirren nga furra dhe nëpërmjet një furçe metalike ushtrohen mbi to 18-20 fërkime mbi sipërfaqen anësore të kampionëve në formë cilindrike dhe 4 fërkime në secilën prej bazave, me një forcë prej 13.3 N. Kampioni peshohet përsëri për të llogaritur përqindjen e masës së dheut që ka humbur nga procedura e përshkruar më sipër. Në përfundim të këtij procesi është mbyllur cikli i parë. Standardi propozon përsëritjen e provës deri në 12 cikle të tilla, në varësi të rezistencës së kampionit.





## Kapitulli 4

### Rezultatet

#### 4.1 Rezultate: raportet e përzierjeve

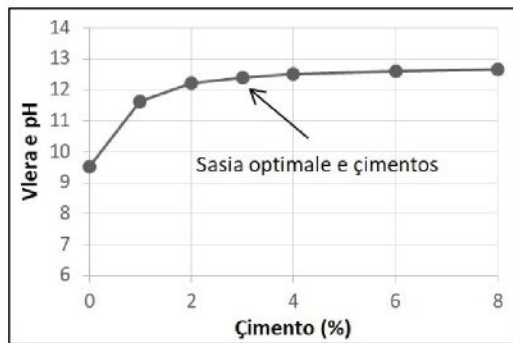
Siç u përmend edhe më sipër, përqindjet e agjentëve kimikë që u përdorën në përzierjet me materialin e argjilës u përcaktuan nëpërmjet provës së pH-it. Përqindja më e ulët e agjentit që jep vlerën 12.4 të tretësirës - vlerë e cila nevojitet për zhvillimin e reaksioneve kimike - u përdor më pas në përzierjet për kryerjen e provave të tjera. Kjo provë bazohet te [Eades & Grim, 1966] dhe te standardizimi në kushtin sipas [ASTM D6276-99]. Fillimisht u përcaktua vlera e pH-it për secilin përbërës më vete. Rezultatet e provës tregohen në Tabelën 4.1:

|             | Argjila     | Çimentoja   | Gëlqerja     | Hiri qymyror |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Vlerat e pH | <b>9.53</b> | <b>12.7</b> | <b>12.89</b> | <b>7.57</b>  |

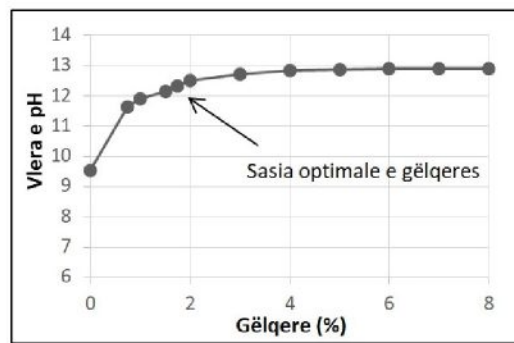
**Tabela 4.1:** Vlerat e pH të argjilës dhe agjentëve kimikë

Këto rezultate tregojnë se çimentoja dhe gëlqerja kanë vlera më të mëdha sesa vlera e synuar e tretësirës 12.4, respektivisht 12.7 dhe 12.98. Nga ana tjetër dheu argjilor e ka vlerën e pH-it 9.53, çka lë të kuptohet se në përzierjen me agjentët kimikë të sipërpërmendur, do përftojë vlerën e dëshiruar të pH-it. Hiri qymyror, gjithashtu, ka një vlerë të ulët të pH-it, vetëm 7.57, si rezultat i mungesës së oksidit të kalciumit në përbërjen e tij kimike (shih nënkapitullin 3.3). Kjo do të thotë se sa më shumë hi të shtohet në përzierje - çka do të shtonte elementët pucolanikë që do hynin në reaksion - aq më shumë do të ulet vlera e pH-it.

Në vijim, porcione të ndryshme të agjentëve kimikë u përzierën me materialin argjilor - siç u përshkrua në Kapitullin 2 - dhe pH-i i tretësirës u përcaktua në secilin rast.

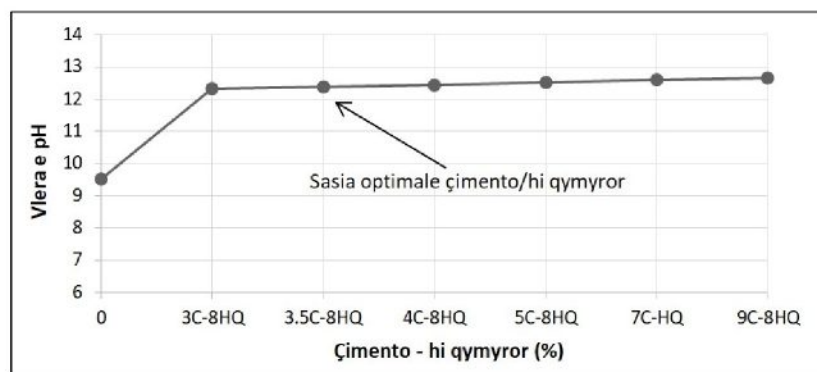


**Figura 4.1:** Prova e pH-it për përzierje me çimento



**Figura 4.2:** Prova e pH-it për përzierje me gëlqere

Rezultatet e provave për çimenton dhe gëlqeren tregohen në Figurën 4.1 dhe 4.2. Siç mund të vihet re, në përzierje me argjilën nevojiten 3% çimento dhe vetëm 1.75% gëlqere për të arritur vlerën 12.4 të pH-it të përzierjes.



**Figura 4.3:** Prova e pH-it për përzierje me çimento dhe hi qymyror

Në përzierjen e çimentos me hirit qymyror, u përcaktua një vlerë nominale për sasinë e hirit që do përdorej. Edhe pse autorë të ndryshëm sugjerojnë sasi nga më të ndryshmet për hirit, nga 10% ([Luisa et al., 2019]) deri në 40%-60% për fortësinë e dëshiruar të betonit ([Nath & Sarker, 2011]; [Nagrokiene & Rutkauskas, 2019]), një vlerë nominale prej 8% u përdor në këtë rast, pasi shtimi i sasisë së hirit do kërkonte edhe shtimin e sasisë së çimentos për të arritur vlerën 12.4 të pH-it, ndërkohë që qëllimi i studimit, ndër të tjera, është edhe përfitim i rezultateve të krahasueshme me efektet e agentëve të tjerë, të cilët - sipas rezultateve të provës - do përdoren në sasi të vogla. Prandaj, për vlerën 8% të hirit qymyror, përqindje të ndryshme të çimentos u përdorën duke arritur rezultatet që tregohen në Figurën 4.3.

Nga prova rezultoi se për 8% hi qymyror vlera e përshtatshme e pH-it arrihej duke shtuar 3.5% çimento. Si përfundim vlerat e përfutuara nga prova e pH-it për sasitë që do përdoren në përzierje për secilin prej agentëve kimikë janë si më poshtë: 3% çimento, 1.75% gëlqere dhe 3.5% çimento me 8% hi qymyror. Një përmbledhje e të gjitha rezultateve të nxjerra nga provat tregohet te tabela në Shtojcën nr.5.

## 4.2 Rezultate: ngjeshmëria

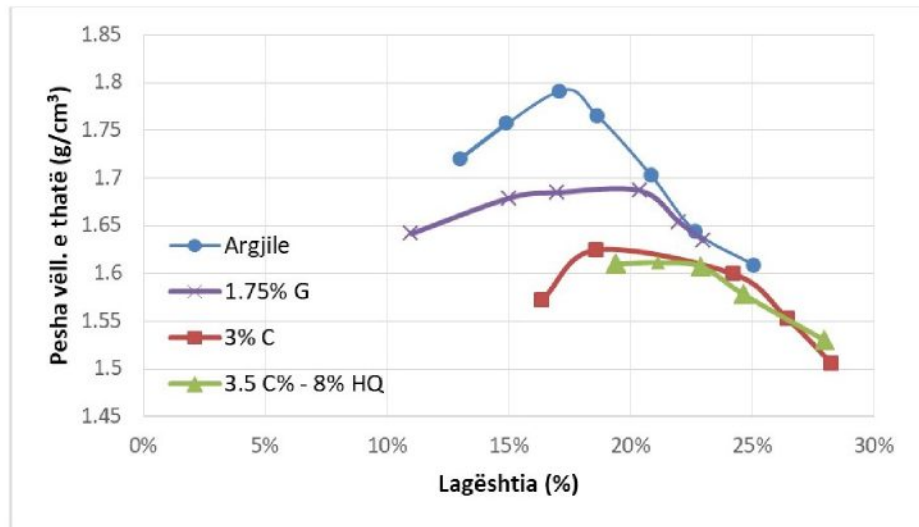
Për provën e ngjeshmërisë u ndoq procedura sipas standardit [ASTM D698-00], për kampionët e argjilës së patrajtuar dhe të përzier me 1.75% gëlqere, 3% çimento dhe 3.5% çimento/ 8% hi qymyror, siç rekomandohen nga prova e pH-it. Procedura e ngjeshjes u krye me aparatën Proctor duke përfutur rezultatet e paraqitura në Tabelën 4.2:

|                                      | Argjila      | 1.75% Gëlqere | 3% Çimento   | 3.5Ç-8HQ     |
|--------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| $\delta_{\max}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | <b>1.79</b>  | <b>1.69</b>   | <b>1.63</b>  | <b>1.61</b>  |
| $w_{\text{opt}}$ (%)                 | <b>17.09</b> | <b>20.40</b>  | <b>18.60</b> | <b>21.13</b> |

**Tabela 4.2:** Rezultatet e provës së ngjeshmërisë për përzierje të ndryshme

Ashtu siç edhe pritej, me shtimin e agentëve kimikë shfaqet tendenca që vlerat e lagështisë optimale të vijnë në rritje, teksa ato të peshës vëllimore të thatë të vijnë në ulje. Nga 17.09% për argjilën e patrajtuar, vlerat e lagështive optimale u bënë 20.4% për përzierjen me gëlqere, një vlerë e ngjashme kjo edhe për dy përzierjet e tjera me 18.6% për çimenton dhe 21.1% për çimento/hi qymyror. Gjithashtu, vlera e peshës vëllimore të thatë pëson rënie, nga 1.79 g/cm<sup>3</sup> për argjilën e patrajtuar, në vlerat 1.69, 1.63 dhe 1.61 g/cm<sup>3</sup> respektivisht për secilin agent kimik të sipërpërmendur. Kjo ulje e parametrit vjen si pasojë e reaksioneve të çimentimit që krijojnë aglomerimin e grimcave të dheut me përmasa më të mëdha sesa ato fillestaret. Grimcat e formuara pas reaksionit e rrisin vëllimin e poreve çka rezulton në një vlerë më të ulët të dendësisë së kampionit të ngjeshur. Reaksionet kimike nxisin edhe procesin e flokulimit, të përshkruar në Kapitullin 2, që gjithashtu ndikon në uljen e dendësisë.

Rezultatet e provës shfaqin gjithashtu një ndryshim të formës së grafikut të ngjeshmërisë. Nga forma fillestare e argjilës së patrajtuar, e cila u karakterizua më lart si formë kambane (*bell-shaped*), përftohen grafikë me forma më të shtrira. Forma e kurbës na lë të kuptojmë tendencën që ka kampioni i dheut për të ndryshuar vëllimin në varësi të luhatjes së vlerës së lagështisë. Kështu, një formë kambane e grafikut në rastin e argjilës së patrajtuar tregon se vlera



**Figura 4.4:** Kurbat e ngjeshmërisë për argjilën e patrajtuar dhe të përzier me agjentë kimikë

maksimale e dendësisë luhatet nga  $1.79 \text{ g/cm}^3$  në  $1.61 \text{ g/cm}^3$  për një ndryshim të lagështisë me vetëm 8%. Po të krahasohet kjo me kurbën e përftuar nga argjila e përzier me 1.75% gëlqere, dendësia ndryshon nga  $1.64 \text{ g/cm}^3$  në  $1.69 \text{ g/cm}^3$  për një luhatje të lagështisë me 10%. Ndryshimi i dendësisë në varësi të luhatjes së ujit në pore është gjithashtu tregues i ndryshimit të vëllimit që pëson kampioni i dheut. Shtrirja e formës së kurbës vihet re edhe për grafikët e përftuar nga përzierjet me çimento dhe çimento/ hi qymyror dhe dëshmon uljen e tendencës së dheut për të ndryshuar vëllimin (dendësinë) me luhatjen e sasisë së ujit në pore (lagështisë).

### 4.3 Rezultate: kufijtë e Atterberg-ut dhe Aktiviteti

Kufijtë e Atterberg-ut janë tregues të rëndësishëm të karakteristikave të dherave. Siç u trajtua edhe në Kapitullin 2, vlerat e tyre - dhe sidomos treguesi i plasticitetit - janë indikatorë të aftësisë që kanë argjilat për t'u bymyer. Sa më i madh ky parametër, pra sa më e madhe aftësia e dheut për të përthithur ujë në kalimin nga faza plastike në fazën e rrjedhshme, aq më e madhe edhe tendenca për rritjen e vëllimit me depozitimin e ujit në strukturën e argjilës. Gjithashtu, rritja e kufirit të plasticitetit nënkupton se më shumë ujë nevojitet për kalimin e dheut nga gjendja plastike në gjendjen gjysmë të ngurtë. Sipas

[Mallela et al., 2004], një ndryshim i treguesit të plasticitetit nga 50% në 40% shkakton një zvogëlim të aftësisë së bymimit nga 45% në më pak se 20%. Prandaj, në punën e kryer u tentua të identifikohet ndikimi që kanë agjentët kimikë në zvogëlimin e treguesit të plasticitetit, si nga pikëpamja sasiore e agjentëve të përdorur, ashtu edhe nga kohëzgjatja e maturimit të kampionëve. Si vlera referimi për argjilën natyrore u morën rezultatet e mostrës numër 4, të përshkruar në Tabelën 3.1 më sipër, me kufirin e rrjedhshmërisë 54.49%, kufirin e plasticitetit 23.44% dhe treguesin e plasticitetit 31.05%.

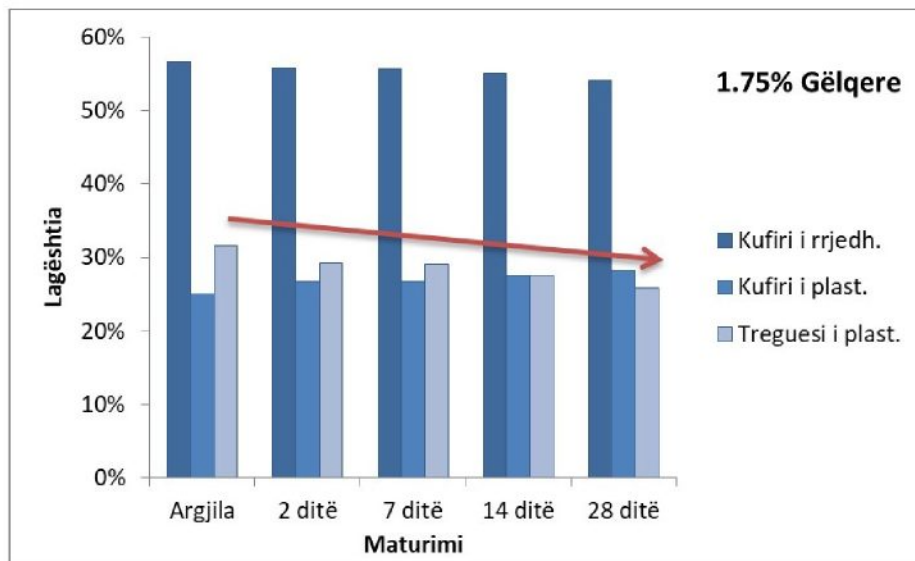
Prova e pH-it përcaktoi përqindjen e gëlqeres që do përdorej në përzierje si 1.75%. Në këtë rast, për shkak të kohës më të gjatë të nevojshme të gëlqerja për zhvillimin e reaksioneve pucolanike dhe ndryshimin e karakteristikave të argjilës, koha e maturimit që u përdor varionte nga 2 në 7, 14 dhe 28 ditë. Për këtë përzierje u përdorën të dyja metodat për përcaktimin e kufirit të rrjedhshmërisë, siç u përmend edhe më herët, metoda e Casagrande-s sipas [ASTM D4318-17] dhe metoda e rënies së konit (*fall cone test*) sipas [BS EN ISO 17892-6:2017]. Rezultatet e provës tregohen në Tabelën 4.3:

| Gëlqere | Maturimi | Casagrande |       |       | Koni  |       |       | Mesatarja |       |       |
|---------|----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|         |          | LL         | PL    | PI    | LL    | PL    | PI    | LL        | PL    | PI    |
| 0%      | Argjila  | 54.5%      | 23.4% | 31.1% | 54.5% | 23.4% | 31.1% | 54.5%     | 23.4% | 31.1% |
| 1.75%   | 2 ditë   | 56.4%      | 26.2% | 30.2% | 55.3% | 27.1% | 28.2% | 55.8%     | 26.6% | 29.2% |
|         | 7 ditë   | 55.9%      | 27.1% | 28.8% | 55.5% | 26.2% | 29.3% | 55.7%     | 26.7% | 29.0% |
|         | 14 ditë  | 55.0%      | 27.5% | 27.5% | 55.3% | 27.6% | 27.6% | 55.1%     | 27.6% | 27.6% |
|         | 28 ditë  | 54.2%      | 28.4% | 25.8% | 54.2% | 28.1% | 26.1% | 54.2%     | 28.3% | 25.9% |

**Tabela 4.3:** Rezultatet e provave të përcaktimit të kufijve të Atterberg-ut me dy metodat dhe vlerat mesatare

Nga të dhënat e mesatarizuara nga të dyja provat, siç tregohet në kolonën e tretë të tabelës, koha e maturimit luan një rol shumë të rëndësishëm. Në përgjithësi përzierja me gëlqere nuk influencon kufirin e rrjedhshmërisë, vlera e të cilit ulët fare pak. Megjithatë, kufiri i plasticitetit duket se pëson një rritje graduale me shtimin e ditëve të maturimit, duke kaluar nga 23.4% për argjilën e patrajtuar në vlerën 28.3% për 1.75% gëlqere pas 28 ditësh. Kjo bën që vlera e treguesit të plasticitetit të ulët nga 31.1% në 25.9%. Këtu duhet nënvizuar roli i kohës së maturimit, pasi vlera e këtij parametri për 7 ditët e para duket se është zvogëluar fare pak, teksa pas 14 dhe 28 ditësh efekti i gëlqeres bëhet i dukshëm. Ulja që pëson treguesi i plasticitetit tregohet me shigjetën e kuqe të Figura 4.5.

Në rastin e dy agjentëve të tjerë kimikë, përqindjet e nxjerra nga prova e pH-it për t'u përdorur në përzierje ishin 3% çimento dhe 3.5% çimento/ 8% hi qymyror.



**Figura 4.5:** Ndikimi i trajtimit me gëlqere për periudha të ndryshme maturimi

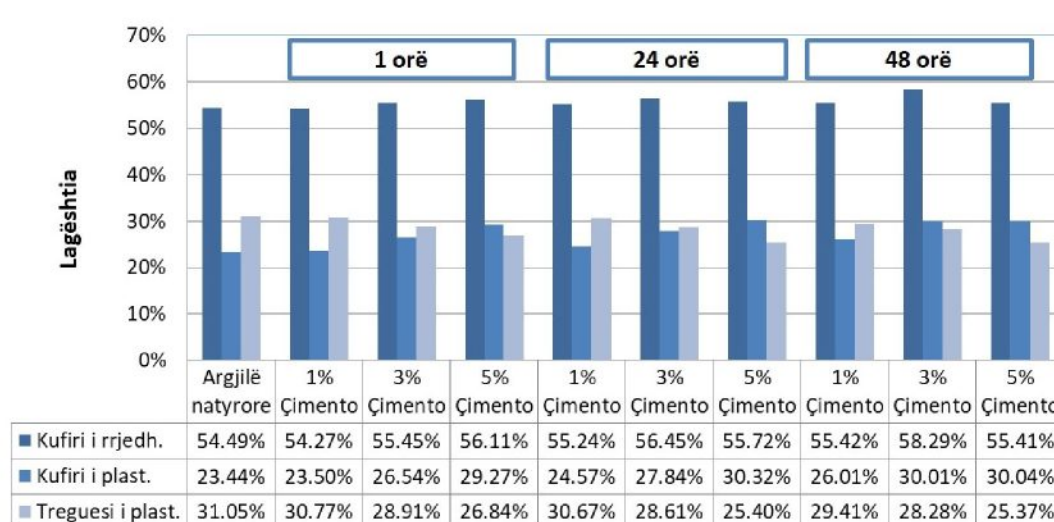
Për të analizuar rolin e sasisë së secilit prej agentëve, ashtu si edhe rolin e kohës së maturimit, u përdorën raporte të ndryshme në përzierje me 2% më lart dhe më poshtë vlerave të sugjeruara nga prova e pH-it, si në vijim:

- përveç 3% çimento që rekomandohet nga prova e pH-it, edhe përzierje me 1% dhe 5% u morën në analizë;
- për të analizuar rolin e çimentos në përzierjet me hirin qymyror, përveç vlerës së rekomanduar prej 3.5Ç-8HQ, u përgatitën edhe përzierjet me 1.5Ç-8HQ dhe 5.5Ç-8HQ;
- për të analizuar rolin e hirit qymyror në ndryshimin e karakteristikave, u morën gjithashtu në konsideratë përzierjet në raportet 3.5Ç-6HQ dhe 3.5Ç-10HQ;
- koha e maturimit për secilin kampion ishte 1, 24 dhe 48 orë (më e shkurtër sesa në rastin e përzierjeve me gëlqere);

Siç tregohet në grafikun e Figurës 4.6, krahasimi mes argjilës së patrajtuar me agjentë kimikë dhe asaj të përzier me 1% çimento tregon se vlerat e kufijve të Atterberg-ut thuajse nuk ndryshojnë - kjo, pavarësisht kohës së maturimit. Ky rezultat është i pritshëm duke marrë në konsideratë se sipas provës së pH-it nevojiten 3% çimento për të krijuar një ambient të përshtatshëm për reaksionet. Nga grafiku mund të vërehet një tendencë e përgjithshme kah rritja



e vogël e kufijve të rrjedhshmërisë, por një rritje e konsiderueshme për kufijtë e plasticitetit, çka rezulton në uljen e përgjithshme të treguesit të plasticitetit. Vlera e tij bie nga 31.05% për argjilën e patrajtuar, në 25.37% për 5% çimento pas 48 orësh.



**Figura 4.6:** Rezultatet e trajtimit të argjilës me çimento për periudha të ndryshme maturimi

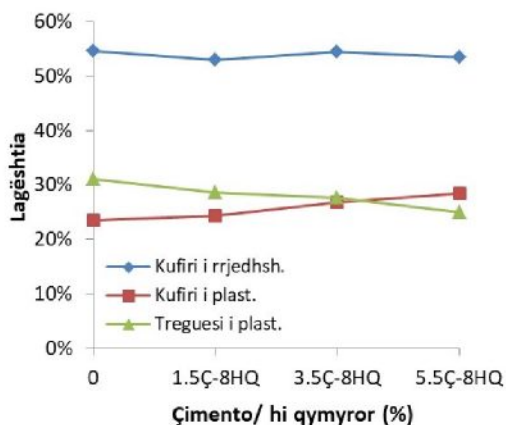
Rezultate të ngjashme mund të vërehen nga përzierjet e çimentos me hirit qymyror, siç ilustron në Tabelën 4.4.

| Argjilë   | 1 orë  |        |        | 24 orë |        |        | 48 orë |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | LL     | PL     | PI     | LL     | PL     | PI     | LL     | PL     | PI     |
| Argjilë   | 54.49% | 23.44% | 31.05% | 54.49% | 23.44% | 31.05% | 54.49% | 23.44% | 31.05% |
| 3.5Ç-6HQ  | 60.38% | 30.54% | 29.84% | 54.32% | 26.57% | 27.75% | 55.51% | 30.09% | 25.42% |
| 3.5Ç-8HQ  | 56.22% | 27.53% | 28.69% | 54.38% | 26.76% | 27.62% | 54.18% | 28.18% | 26.00% |
| 3.5Ç-10HQ | 53.76% | 25.82% | 27.94% | 55.26% | 29.23% | 26.03% | 53.08% | 27.26% | 25.82% |
| 1.5Ç-8HQ  | 54.52% | 25.31% | 29.21% | 52.93% | 24.26% | 28.67% | 52.79% | 25.65% | 27.14% |
| 3.5Ç-8HQ  | 56.22% | 27.53% | 28.69% | 54.38% | 26.76% | 27.62% | 54.18% | 28.18% | 26.00% |
| 5.5Ç-8HQ  | 58.70% | 31.48% | 27.22% | 53.47% | 28.52% | 24.95% | 54.15% | 30.97% | 23.18% |

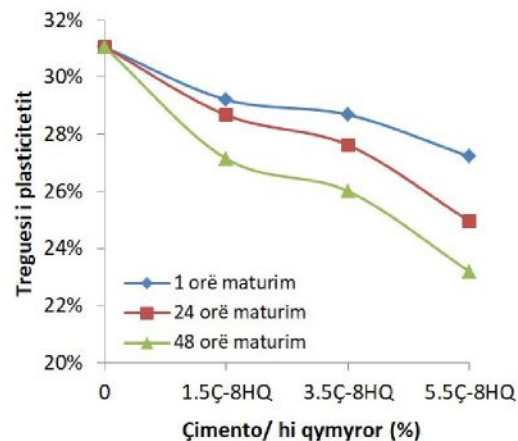
**Tabela 4.4:** Rezultatet e trajtimit të argjilës me përqindje të ndryshme të çimentos dhe hirit qymyror, ku merret në konsideratë efekti i çimentos dhe më pas i hirit

Rritja e sasisë së hirit qymyror nga 6%, në 8% dhe 10% - për të njëjtën sasi çimentoje - tregon se kufiri i rrjedhshmërisë qëndron relativisht i njëjtë ndërsa kufiri i plasticitetit rritet. Rritja e priudhës së maturimit nga 1 në 24 dhe 48 orë shkakton një ulje të vazhdueshme të vlerës së treguesit të plasticitetit,

nga 31.05% për argjilën e patrajtuar në 25.82% për 3.5Ç-10HQ pas 48 orësh. Megjithatë, për të treja këto përqindje, pas 48 orësh duket se vlera e treguesit të plasticitetit konvergon drejt 25.5% - 26%. Ky rezultat çon në përfundimin se për të evidentuar efektin e vërtetë të hirit qymyror në kufijtë e Atterberg-ut, një kohë më e gjatë maturimi është e nevojshme, në mënyrë të ngjashme si me rastin e gëlqeres. Ndërkohë që efekti i uljes së treguesit të plasticitetit mund të jetë edhe si pasojë e përmasave të grimcave të hirit qymyror (më të medha se ato të argjilës dhe të çimentos). Në formë grafike, rezultatet e kësaj prove tregohen në Shtojcën nr.6.



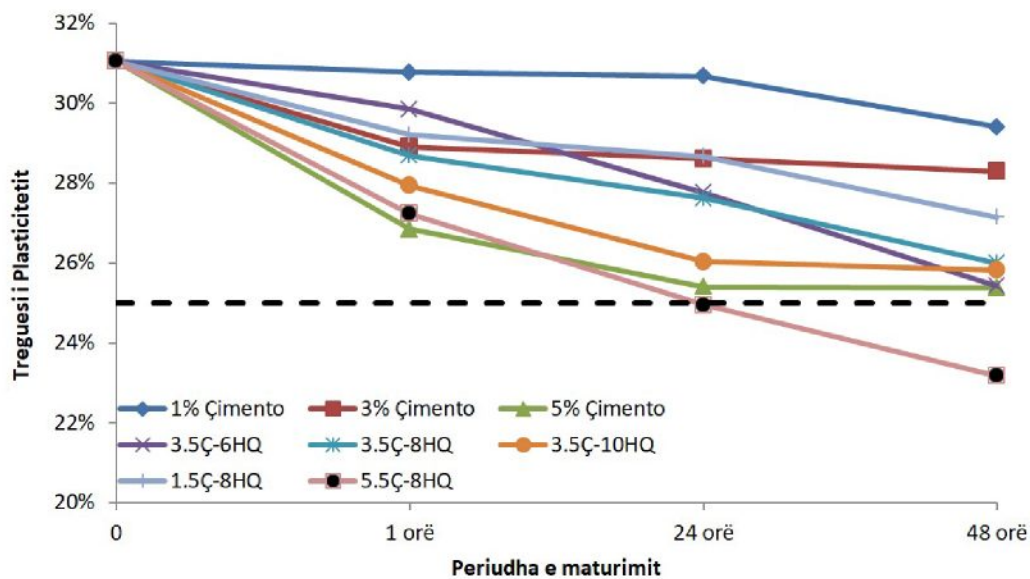
**Figura 4.7:** Efekti i sasisë së çimentos te kufijtë e Atterberg-ut



**Figura 4.8:** Efekti i maturimit të treguesi i plasticitetit

Efekti i çimentos në përzierjen me hirin qymyror ilustrohet në Figurat 4.7 dhe 4.8. Te figura e parë tregohet se me rritjen nga 1.5%, në 3.5%, në 5.5% të çimentos - ndërkohë që vlera e hirit qymyror ruhet konstante në 8% - ngelet thuhet e pandryshuar vlera e kufirit të rrjedhshmërisë (vija blu). Vlerat e kufirit të plasticitetit rriten (vija e kuqe) dhe ato të treguesit të plasticitetit vijnë duke u ulur (vija e gjelbër). Në vetvete, rritja e kufirit të plasticitetit të argjilës (teksta kufiri i rrjedhshmërisë ngelet konstant) përcakton rritjen e fazës gjysmë-të ngurtë dhe zgovëlimin e fazës plastike për dherat e trajtuar, bazuar te përcaktimi i fazave sipas Atterberg-ut. Gjithashtu, te figura e dytë, efekti i kohës së maturimit është evident për një agjent kimik i cili hyn në reaksionet e hidratimit relativisht shpejt, siç është çimentoja. Vlerat e treguesit të plasticitetit vijnë në ulje, nga 27.22% pas 1 ore, në 24.95% pas 24 orësh, deri në vlerën më të ulët të këtij parametri, 23.18%, që arrihet pas 48 orësh për përzierjen 5.5Ç-8HQ. Kjo vlerë është e rëndësishme pasi përfaqëson kapërcimin e aftësisë së bymimit nga "e lartë" për  $PI > 25$  në "mesatar" për  $PI < 25$ , sipas [PCA, 2008].

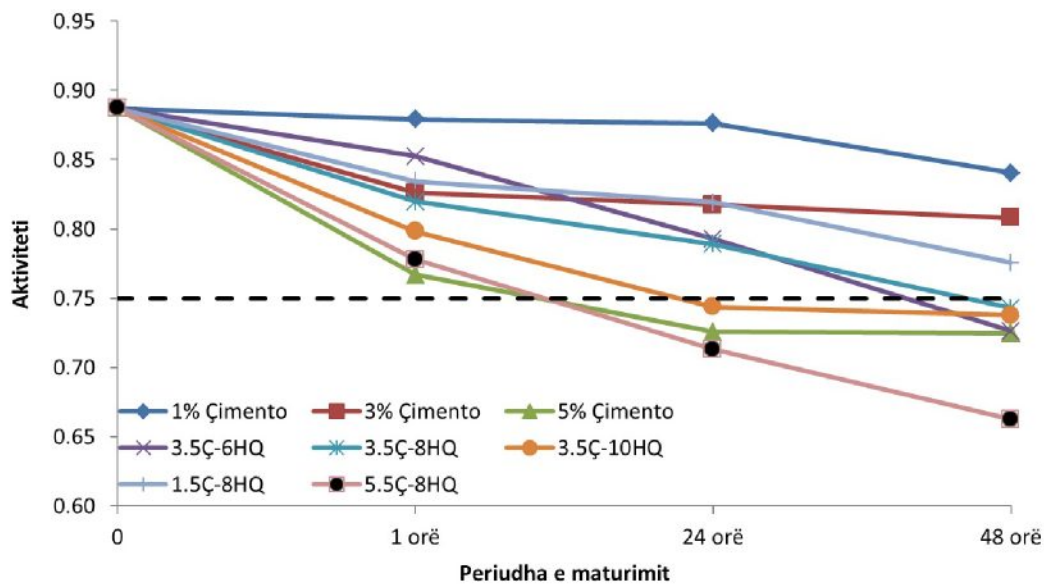




**Figura 4.9:** Tendencë në rënie e parametrit të treguesit të plasticitetit për sasi të ndryshme Ç/HQ

Figura 4.9 bën një përmbledhje grafike të të gjitha vlerave të treguesve të plasticitetit dhe evidenton tendencën në ulje të tyre në varësi të përzierjeve me agjentë kimikë dhe kohëve të maturimit. Siç u përmend edhe më sipër, përzierja me 1% çimento e ul vetëm pak këtë parametër nga vlera natyrore e argjilës prej 31.05%. Efektin më të madh e jep kombinimi i 5.5% çimento me 8% hi qymyror. Kur kjo vlerë krahasohet me përzierjen e 3.5Ç-10HQ pas 48 orësh, rezultatet tregojnë se çimentoja, nëpërmjet procesit të hidratimit, luan në total një rol më të rëndësishëm sesa hiri qymyror në uljen e vlerave të treguesit të plasticitetit, të paktën sa i përket periudhave të maturimit deri në 48 orë. Për vlerën 3.5% të çimentos, vlera më e ulët e PI u arrit në kombinim me 10% hi qymyror pas 48 orësh me 25.82%. Kjo vlerë është shumë e ngjashme me vlerën 25.9% që u arrit për 1.75% gëlqere për një periudhë maturimi prej 28 ditësh. Këto rezultate dëshmojnë rëndësinë e kohës së maturimit në ndryshimin e vetive plastike të argjilës. Nga grafiku mund të vihet re gjithashtu se përzierjet me 3.5Ç-6HQ, 3.5Ç-8HQ dhe 3.5Ç-10HQ japin afërsisht të njëjtin rezultat pas 48 orësh si 5% përzierje me çimento. Ulja maksimale që pëson parametri i treguesit të plasticitetit është 7.9% për kombinimin 5.5Ç/8HQ pas 48 orësh maturimi.

Në Figurën 4.10 tregohet ndryshimi që pëson parametri i Aktivitetit si pasojë e ndryshimit të treguesit të plasticitetit. Si vlerë fillestare e Aktivitetit të argjilës është marrë vlera 0.88, e nxjerrë nga rezultatet në nënkapitullin 3.1.2.



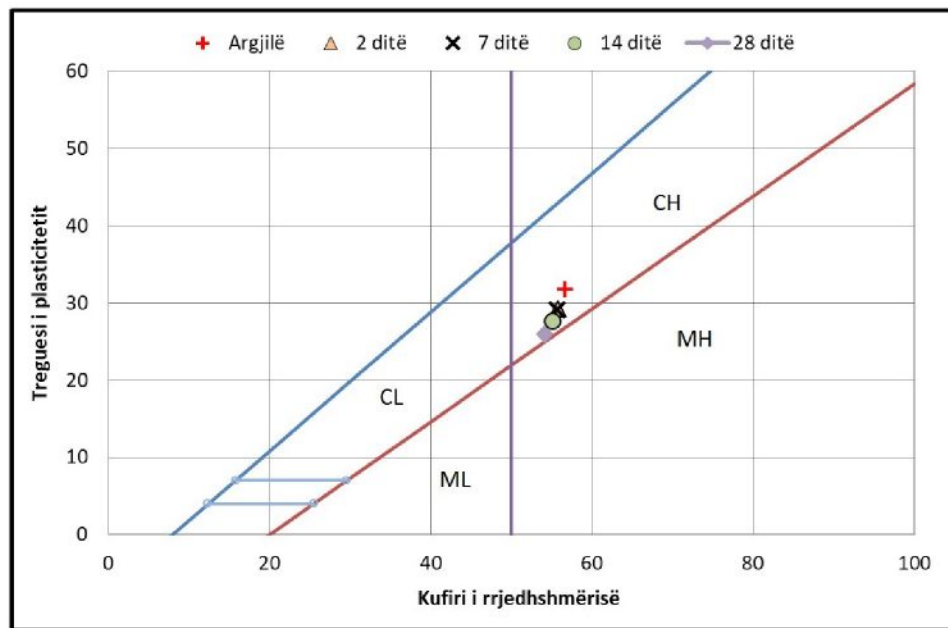
**Figura 4.10:** Tendenca në rënie e parametrit të Aktivitetit për sasi të ndryshme Ç/HQ

Në figurë ilustrohen ndryshimet që ky parametër pëson te përzierjet me agjentë kimikë. Vija horizontale e ndërprerë (me ngjyrë të zezë) tregon kufirin e kalimit nga dhera me aktivitet normal (1.25-0.75) në dhera inaktivë ( $<0.75$ ), sipas [Skempton, 1953]. Sipas grafikut, rezulton se përveç argjilës së patrajtuar, në kategorinë e dherave aktivë hyjnë edhe dherat e trajtuar me 3% ose më pak çimento. Përzierje të tjera ndodhen afër kufirit 0.75, me përjashtim të përzierjes 5.5Ç-8HQ për të cilën parametri kategorizohet si inaktiv. Në total parametri i Aktivitetit pëson një rënie me 0.22. Edhe për përzierjen me 1.75% gëlqere me tregues plasticiteti 25.9% pas 28 ditësh, mund të thuhet se Aktiviteti ndodhet shumë pranë këtij kufiri.

## 4.4 Rezultate: sjellja plastike

Një ndër efektet e trajtimit të dherave me agjentët kimikë, siç u trajtua edhe në Kapitullin 2, është formimi i agregateve me përmasa grimcash më të mëdha se ato fillestare, duke ndryshuar në këtë mënyrë sjelljen e tyre. Në nënkapitullin 3.1.2, nga analiza e kampionëve të argjilës, në shumicën e rasteve rezultoi se karakterizimi i sjelljes së tyre plastike, sipas klasifikimit USCS, ishte CH - pra argjilë e me plasticitet të lartë.

Nga përzierja e argjilës me 1.75% gëlqere u mor në konsideratë ndryshimi i sjelljes plastike sipas ditëve të maturimit: 2, 7, 14 dhe 28 ditë. Në rastin e përzierjes me çimento u morën në konsideratë vlerat e kufijve të rrjedhshmërisë dhe treguesve të plasticitetit pas 1, 24 dhe 48 orësh maturimi për 1, 3 dhe 5% çimento. Në rastin e përzierjes me çimento dhe hi qymyror u morën në konsideratë vlerat për 1, 24 dhe 48 orë maturim për të gjitha kombinimet e përdorura si në rastin e analizës së kufijve të Atterberg-ut, konkretisht: 3.5Ç-6HQ, 3.5Ç-8HQ, 3.5Ç-10HQ, 1.5Ç-8HQ dhe 5.5Ç-8HQ. Rezultatet e provave ilustrohen në grafikët e Figurave 4.11, 4.12 dhe 4.13.



**Figura 4.11:** Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar 1.75% gëlqere

Siç mund të vihet re nga grafikët, përzierjet me agjentë kimikë shkaktojnë një lloj "migrimi drejt jugut" të pikave që përcaktojnë sjelljen plastike të grimcave. Në rastin e gëlqeres, pas 28 ditësh maturimi, duket se sjellja e dheut është në kufirin mes argjilës dhe pluhurit. Ndërsa për 5% çimento dhe për kombinimin 5.5Ç-8HQ duket se sjellja e dheut ndryshon nga argjilë në pluhur me plasticitet të lartë, pra MH. Ky rezultat dëshmon krijimin e agregatëve kokërrtrashë nga reaksionet kimike me agjentët kimikë. Duke iu referuar Figurës 3.5 të kapitullit paraardhës, rezulton se dherat e trajtuar me 5.5Ç-8HQ për 28 ditë i afrohen kufirit që ndan sjelljen e "bymimit të lartë" nga "bymimi mesatar" sipas [PCA, 2008].

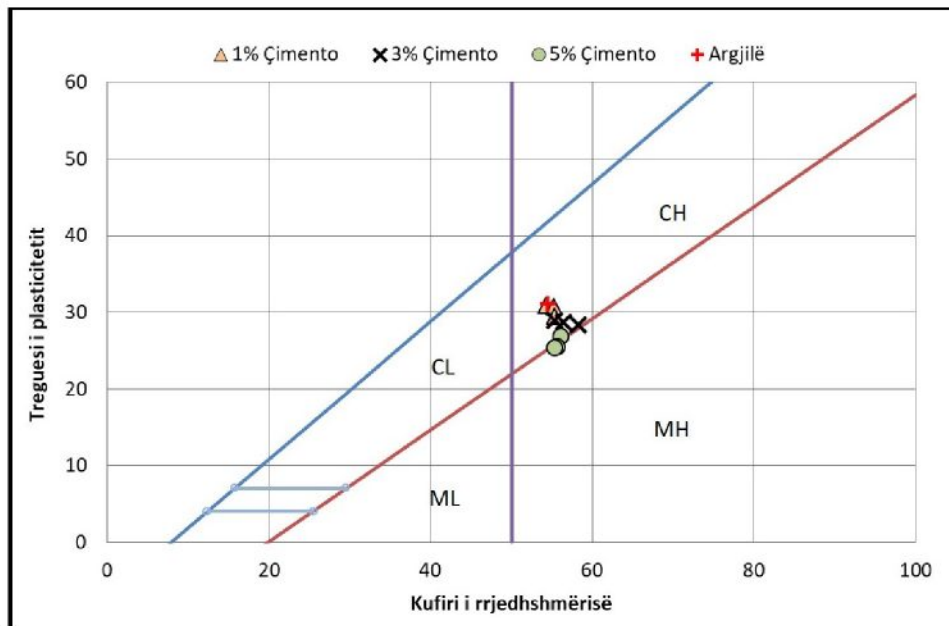


Figura 4.12: Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar me çimento

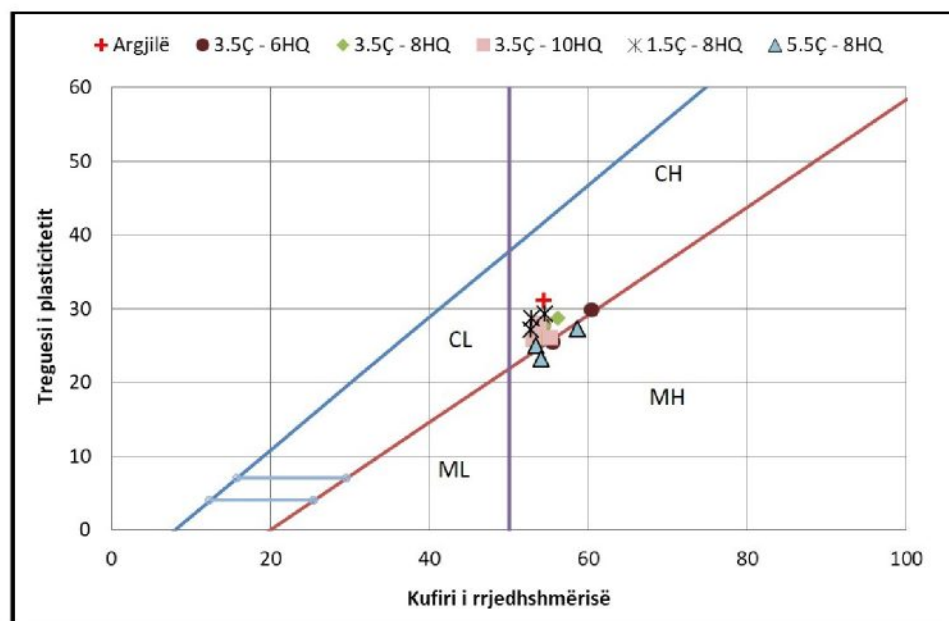


Figura 4.13: Ndryshimi që pëson sjellja plastike për argjilën e trajtuar me çimento dhe hi qymyror

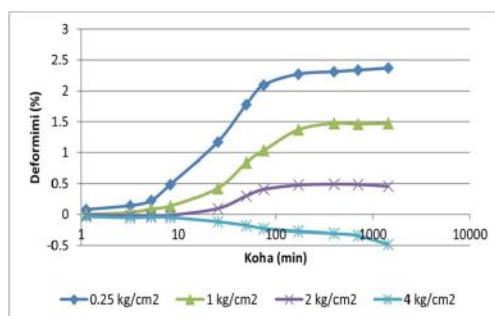


## 4.5 Rezultate: aftësia e bymimit

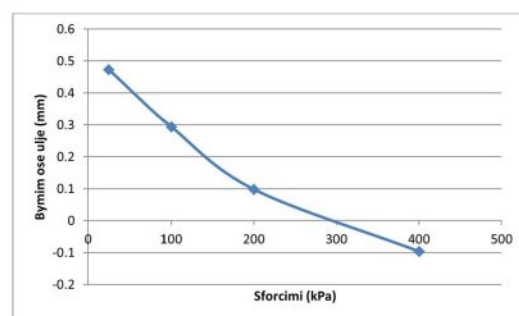
Aftësia e bymimit tek argjilat është ndër elementet më të rëndësishme për t'u përcaktuar, pasi mund të konsiderohet si ndër shkaqet kryesore që i karakterizon ato si formacione problematike nga aspekti inxhinierik. Ndryshimi i vëllimit të argjilave në kontakt me ujin mund të shkaktojë devijime dhe zhvendosje të strukturave që mbështeten mbi to, deformime dhe dëme në strukturën e ndërtesave për shkak të uljeve diferenciale, rrëshqitje në shpatet e pjerrët etj.

Deri tani është parë efekti që agjentët kimikë kanë te ndryshimi i treguesve të ndryshëm, që janë indikatorë të tendencës që ka argjila për t'u bymyer. Megjithatë, sasi të vogla agjentësh kimikë kanë ndikim më të madh në zvogëlimin e aftësisë së bymimit sesa në ndryshimin e këtyre treguesve ([PCA, 2008]). Prandaj prova e aftësisë së bymimit me aparatën e odometrit është një mënyrë më e saktë për përcaktimin e këtij ndikimi.

Në këtë studim u analizua deformimi aksial që pësojnë argjilat e ngjeshura, të patrajuara dhe të trajtuara me agjentë kimikë, si pasojë e vënies në kontakt me ujin, kur mbi to ushtrohen sforcime të ndryshme. Agjentët kimikë të përdorur për këtë provë ishin 3% çimento dhe 3.5% çimento me 8% hi qymyror, për dy periudha maturimi: 7 dhe 28 ditë. Gëlqerja nuk u përdor si agjent kimik në këtë rast. Pasi kampionët u ngjeshën, ato u zhytën në ujë dhe mbi to u ushtruan sforcimet prej 0.25, 1.0, 2.0 and 4.0 kg/cm<sup>2</sup> për një cikël 24-orësh secila. Vlerat e deformimit shprehen si përqindje e lartësisë së kampionit. Rezultatet për argjilën e ngjeshur dhe të patrajuar tregohen në Figurat 4.14 dhe 4.15:



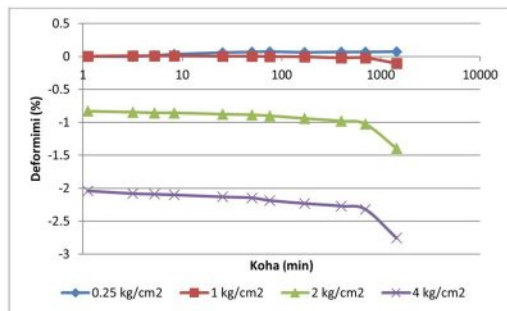
**Figura 4.14:** Deformimi i argjlës së ngjeshur



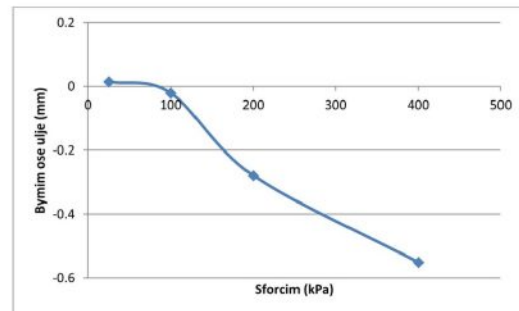
**Figura 4.15:** Bymimi/ulja për argjilën e ngjeshur

Në Figurën 4.14 tregohet marrëdhënia e deformimit me kohën, ku për tre ngarkesat e para vihet re bymimi i argjlës së ngjeshur, ku vlera maksimale e deformimit prej 2.37% arrihet për ngarkesën më të vogël prej 0.25 kg/cm<sup>2</sup>. Për tre ngarkesat e para - për të cilat argjila pësoi bymim - vihet re e njëjta sjellje:

fillimisht një rritje graduale e vëllimit kundrejt kohës në shkallë logaritmike, më pas një rritje më e shpejtë dhe përfundimisht një rritje shumë e ngadaltë e vëllimit. Sipas [Azam & Wilson, 2006], kjo sjellje korrespondon me tre fazat tipike të bymimit: a) bymimi gradual i fillimit i atribuohet faktit se uji nuk depërton lirisht në poret e një kampioni argjile të ngjeshur si pasojë e koeficientit të ulët të filtrimit; b) bymim me një intesitet më të lartë pasi uji ka depërtuar; c) bymim dytësor i argjilës së ngopur me ujë. Ulja - ose konsolidimi - në këtë rast ndodhi vetëm për ngarkesën më të lartë prej  $4 \text{ kg/cm}^2$  duke arritur  $0.48\%$  ulje. Në Figurën 4.15 tregohet ndryshimi që pëson vëllimi në varësi të ngarkesave që aplikohen mbi kampion. Siç mund të vihet re, vlera minimale e nevojshme për të parandaluar bymimin është ngarkesa  $300 \text{ kPa}$ . Sipas [ASTM D4546-14], ky parametër emërtohet 'presioni i bymimit'. Nga grafiku i figurës mund të shihet se ndryshimi total i lartësisë është  $0.57 \text{ mm}$  (për një kampion me lartësi totale  $20 \text{ mm}$ ).

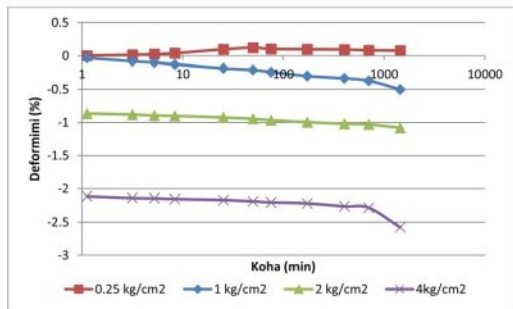


**Figura 4.16:** Deformimi për 3% çimento për 7 ditë

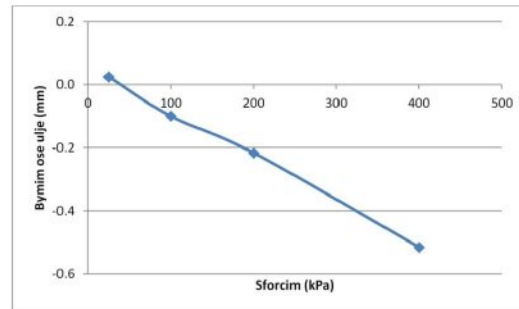


**Figura 4.17:** Byrimi/ulja për 3% çimento për 7 ditë

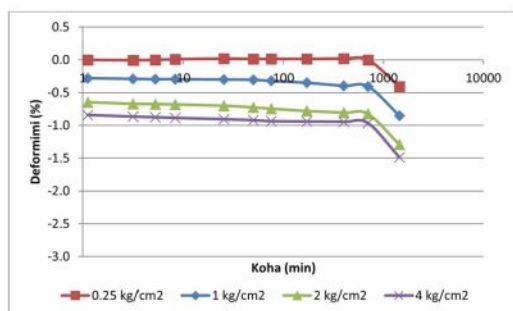
Figura 4.16 ilustron grafikët e deformimit të pësuar për kampionët e ngjeshur dhe të përzier me 3% çimento dhe të maturuar për 7 ditë. Siç mund të vihet re, matjet filluan menjëherë pas shtimit të ujit në qelizën odometrike të kampioni i ngarkuar. Rezultatet dëshmojnë se kampioni u bymte vetëm për ngarkesën më të ulët, atë  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ , ndryshe nga rasti i mëparshëm ku argjila e ngjeshur pësoi bymym për tre ngarkesat e para. Byrimi maksimal që pësoi kampioni i përzier me çimento ishte  $0.074\%$  deformim. Për të gjitha ngarkesat e tjera, kampioni iu nënshtrua konsolidimit, duke arritur vlerën maksimale prej  $2.76\%$  deformim për ngarkesën  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Për këtë kampion, presioni i bymimit gjithashtu pësoi ulje në shkallë të konsiderueshme, nga  $300 \text{ kPa}$  në rastin e parë në  $70 \text{ kPa}$ . Ndryshimi i përgjithshëm i vëllimit qëndroi thuhetse i njëjtë me  $0.56 \text{ mm}$  deformim të lartësisë, por në këtë rast me dallimin thelbësor se ky ndryshim i atribuohet konsolidimit dhe jo bymimit.



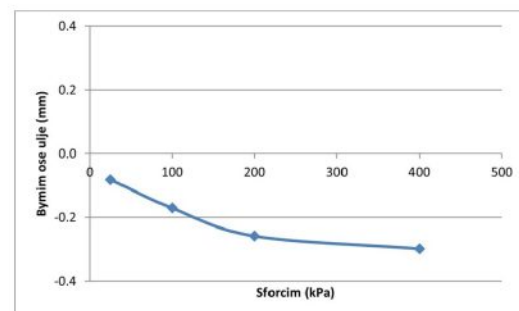
**Figura 4.18:** Deformimi për 3% çimento për 28 ditë



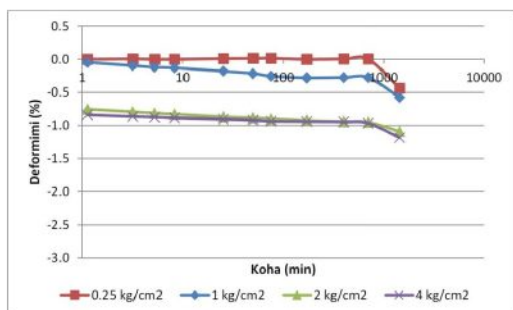
**Figura 4.19:** Bymimi/ulja për 3% çimento për 28 ditë



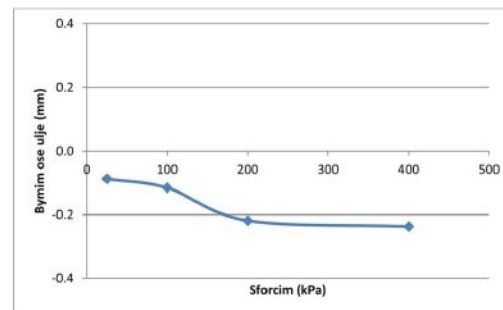
**Figura 4.20:** Deformimi për 3.5Ç/8HQ për 7 ditë



**Figura 4.21:** Bymimi/ulja për 3.5Ç/8HQ për 7 ditë



**Figura 4.22:** Deformimi për 3.5Ç/8HQ për 28ditë

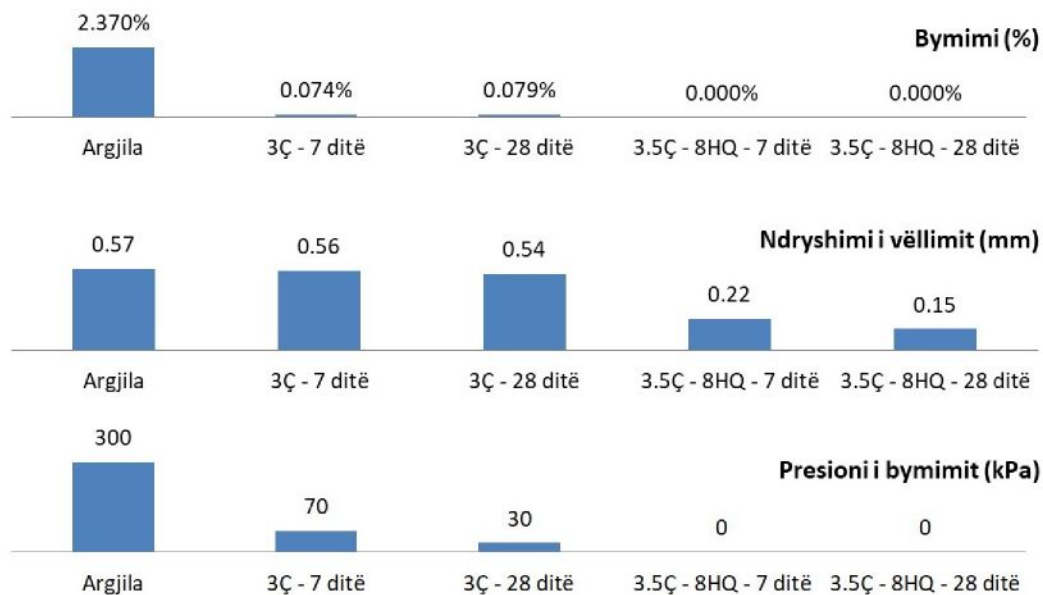


**Figura 4.23:** Bymimi/ulja për 3.5Ç/8HQ për 28 ditë

Rezultatet e provës për kampionin e argjilës së ngjeshur në përzierje me 3% çimento dhe kohë maturimi 28 ditë tregohen në Figurën 4.18. Sjellja ndaj bymimit, siç ilustron nga grafikët, është mjaft e ngjashme me rastin e maturimit për 7 ditë, ku shkalla e konsolidimit zvogëlohet fare pak në 0.54 mm deformim të lartësisë. Dallimi kryesor, megjithatë, qëndron te vlera e presionit të bymimit i cili ulet tanimë nga vlera 70 në 30 kPa (Fig. 4.19).



Me shtimin e 3.5% çimentoje dhe 8% hiri qymyror dhe pas 7 ditësh maturimi, aftësia e bymimit të kampionit të argjilës u bë zero, siç tregohet në grafikun e Figurës 4.20. Rrjedhimisht edhe vlera e presionit të bymimit bëhet zero. Për më tepër, shkalla e konsolidimit ulet në mënyrë të ndjeshme, nga 2.57% në rastin e përzierjes me 3% çimento, në vetëm 1.49% në këtë rast për ngarkesën 4 kg/cm<sup>2</sup>. Ndryshimi total i vëllimit ulet me vetëm 0.22 mm për një lartësi fillestare prej 20 mm. Rezultate të ngjashme me këto më sipër u arritën edhe për 28 ditë maturimi të së njëjtës përzierje, me dallimin e vetëm se shkalla e deformimit u ul nga 1.49% në 1.19% (Fig. 4.22).



**Figura 4.24:** Rezultatet e provës së aftësisë së bymimit të argjilës

Në Figurën 4.24 tregohen në mënyrë të përmblodhur rezultatet e provës së aftësisë së bymimit të argjilave. Nga grafikët e mësipërm, efekti i përzierjes së argjilës me agjentët kimikë dhe rezultatet e mëposhtme:

- Tendenca fillestare e argjilës së ngjeshur dhe të patrajtuar për të rritur vëllimin në kontakt me ujin deri në 2.37% të lartësisë fillestare u ul thuajse në zero me përzierjen e argjilës me 3% çimento.
- Rritja e periudhës së maturimit nga 7 në 28 ditë për 3% çimento ndikoi në uljen e presionit të bymimit nga 70 në 30 kPa.

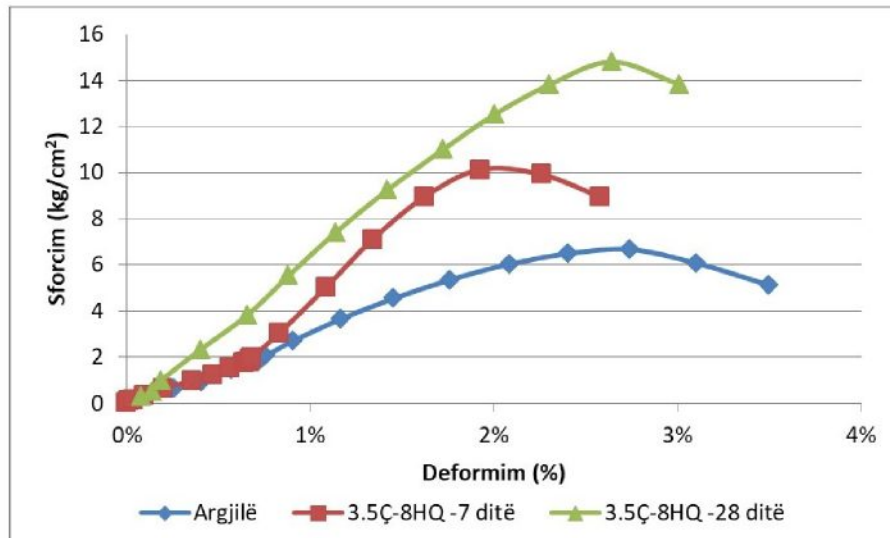


- Ndryshimi i vëllimit, edhe pse kaloi nga bymim në konsolidim, ngeli thuajse i pandryshuar për dherat e trajtuar me çimento krahasimisht me ato të patrajtuar, në vlerën 0.57-0.54 mm.
- Me përzierjen e argjilës me 3.5% çimento dhe 8% hi qymyror, të maturuara për 7 dhe 28 ditë, ndryshimi i vëllimit kapi vlerat minimale të 0.22 mm dhe 0.15 mm, respektivisht, për një kampion me lartësi fillestare 20 mm.
- Për përzierjen 3.5Ç-8FA vlera e presionit të bymimit u bë zero.

Rezultate të ngjashme me këto më sipër për trajtimin e dherave argjilore me agjentë kimikë gjenden edhe në literaturë. Kështu, [PCA, 2008] sugjeron se shtimi i 2% çimentoje e ul potencialin e bymimit të argjilës nga 11% në vetëm 1%, teksa sipas [Jamsawang et al., 2017], përzierja me 1, 3 dhe 5% çimento me argjila me potencial mesatar bymimi - e maturuar për 28 ditë dhe që i nënshtrohet ngarkesës prej  $0.01 \text{ kg/cm}^2$  - e ul potencialin e bymimit në 7, 1.9 dhe 0.6%, respektivisht.

## 4.6 Rezultate: rezistenca e argjilës në shtypjen njëboshtore

Resistenca në shtypjen njëboshtore u krye me anë të aparatit të triaksialit mbi kampionë të ngjeshur paraprakisht në aparatën Proctor. Prova u krye mbi argjila të patrajtuar dhe mbi përzierje me 3.5% çimento dhe 8% hi qymyror, të maturuara për 7 dhe 28 ditë në kushte temperature dhe lagështie konstante. Rezultatet e provës paraqiten në grafikun e Figurës 4.25. Në parim, prova e shtypjes njëboshtore vazhdon derisa në lexime vihet re një ulje e qartë dhe graduale e rezistencës së kampionit - çka nënkupton këputjen - ose në rast të kundërt deri në deformimin me 5% të lartësisë së tij. Siç mund të vihet re në Figurën 4.26, nga këputja e kampionit u formuan plane diagonale të prerjes. Kampioni i argjilës i patrajtuar, në dallim nga ai i trajtuar me agjentë kimikë, shfaqti një sjellje më duktile duke u deformuar gradualisht. Megjithatë, edhe në këtë rast, momenti i këputjes së kampionit evidentohet para deformimit prej 5%.



**Figura 4.25:** Rezistenca në shtypjen njëboshtore për 3.5Ç-8HQ

Siç mund të dallohet në grafik, rezistenca në shtypjen njëboshtore pëson një rritje nga  $6.67 \text{ kg/cm}^2$  për argjilën e patrajtuar dhe të ngjeshur, në  $10.13 \text{ kg/cm}^2$  për kampionin e përzier me çimento dhe hi qymyror pas shtatë ditësh maturimi. Kjo është një rritje me një faktor prej 1.52. Për kampionin me çimento dhe hi qymyror të maturuar për 28 ditë, rezistenca në shtypjen njëboshtore arrin vlerën  $14.8 \text{ kg/cm}^2$ . Kjo përbën një rritje me faktor 2.22 krahasuar me argjilën e patrajtuar. Me rritjen e deformimit vihet re një rritje më e shpejtë e sforcimit për kampionët e përzier me agjentë kimikë. Këto rezultate konkordojnë me çfarë propozon [Bergado et al., 1996], sipas të cilit një sasi më e vogël sesa 5% çimento nuk sjell një rritje të konsiderueshme të rezistencës në shtypje, pavarësisht kohës së maturimit. Sipas autorit, 25% çimento në përzierje me dhera të maturuar për 7 ditë e rrit këtë parametër me 11 herë, teksa rritja e sasisë së çimentos sipër kësaj vlere nuk sjell rezultate të konsiderueshme pasi materialet pucolanike në dhera do jenë konsumuar (do kenë hyrë në reaksion).

Përzierja e kampionit të argjilës me agjentët kimikë solli edhe ndryshimin e sjelljes plastike të kampionit nën ngarkesë. Siç mund të shihet te Figura 4.26, kampioni i argjilës natyrore shfaq një sjellje duktile, duke pësuar gradualisht zgjerim të vëllimit në drejtimin horizontal. Te kampioni shihet të jetë shfaqur edhe plani i këputjes (foto majtas). Në kampionin e trajtuar me çimento dhe hi qymyror (foto djathtas), nga ana tjetër, sjellja nën ngarkesë ndryshoi nga duktile në të thyeshme (*brittle*) duke u deformuar më pak por duke krijuar një plan të qartë të këputjes në momentin e ushtrimit të ngarkesës maksimale.



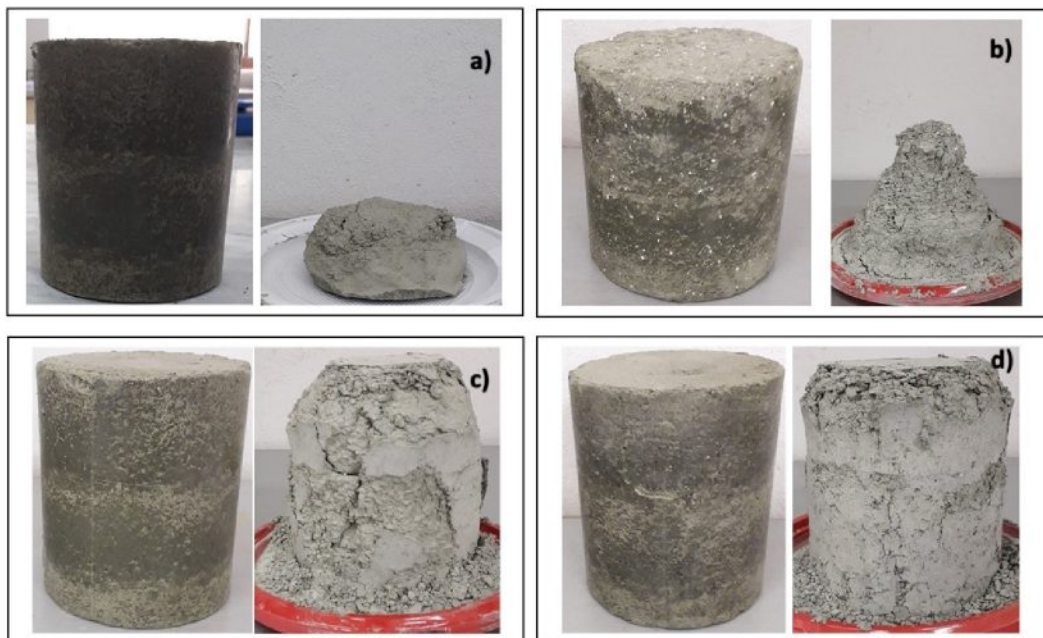
**Figura 4.26:** Deformimi dhe plani i këputjes për argjilën e ngjeshur të patrajtuar (majtas) dhe me 3.5Ç/8HQ (djathtas)

## 4.7 Rezultate: rezistenca ndaj lagies/tharjes

Rezistenca e dherave ndaj procesit të lagies dhe tharjes, si dhe efekti i përzierjes me agjentë kimikë, u përcaktua nëpërmjet provës së specifikuar në standardin [ASTM D559-03]. Agjentët e përdorur ishin gëlqerja 1.75%, çimentoja 3% dhe kombinimi 3.5% çimento me 8% hi qymyror. Gjithashtu, një kampion argjile e patrajtuar me agjentë kimikë u ngjesh maksimalisht për të krahasuar rezultatet, ashtu si dhe një kampion argjile rrënjësore me strukturë të paprishur. Procedura e provës përshkruhet me detaje në nënkapitullin 3.9. Në Figurën 4.27 tregohen kampionët e dheut në përmasat e tyre fillestare pas procesit të ngjeshjes dhe të maturimit (fotot majtas), si dhe pas përfundimit të ciklit të parë të lagies-tharjes (fotot djathtas) ku kampionët u zhytën në ujë për 5 orë, më pas u lanë të thahen për 42 orë, dhe përfundimisht u fërkuan me një furçë metalike, siç përcaktohet në standardin teknik. Në Figurën 4.27/a tregohet shpërbërja që ka pësuar kampioni i argjilës së ngjeshur dhe të patrajtuar me agjentë kimikë nga kontakti me ujin dhe tharja e mëpastajshme. Në Figurën 4.27/b tregohet kampioni i trajtuar me gëlqere, në 4.27/c kampioni i trajtuar me çimento, dhe në 4.27/d kampioni i trajtuar me çimento dhe hi qymyror.



Siç mund të dallohet nga fotot, renditja e mësipërme vlen edhe për të treguar masën e dheut që ka humbur nga secili kampion në përfundim të ciklit të parë të provës së lagës dhe tharjes.



**Figura 4.27:** Kampionët para dhe pas ciklit të parë të lagës/tharjes a) argjilë e ngjeshur e patrajtuar, b) argjilë me 1.75% gëlqere, c) argjilë me 3% çimento dhe d) argjilë me 3.5% çimento dhe 8% hi qymyror.

Në Tabelën 4.5 tregohet humbja e masës së dheut për dy ciklet e para të provës së lagës/tharjes. Siç mund të vihet re, kampioni i argjilës së ngjeshur maksimalisht por të patrajtuar me agjentë kimikë, pas ciklit të parë humbi rreth 70% të masës së vet. Gjithashtu, 1.75% përzierje me gëlqere rezultoi e pamjaftueshme, pasi kampioni pas ciklit të parë humbi rreth 65% të masës, një rezultat ky mjaft i ngjashëm me argjilën e patrajtuar.

Përzierja me 3% çimento dhe 3.5Ç/8HQ dhanë rezultate më të kënaqshme duke humbur vetëm 35.4% dhe 26.4% të masës së tyre, respektivisht. Me përsëritjen e provës gjatë ciklit të dytë, humbja e masës sipas renditjes së mësipërme ishte 100% për dy rastet e para, 82.5% për çimenton dhe 74.7% për çimento/ hi qymyror. Pas futjes në ujë të dy kampionëve të fundit për nisjen e ciklit të tretë, masa e tyre u shpërbë plotësisht.

Figura 4.28 paraqet ndryshimin që pësoi kampioni i argjilës rrënjësore pas përfundimit të ciklit të parë, pa qenë nevoja e përdorimit të furçës metalike.

|                     | <i>Agjenti kimik</i> | <i>Sasia (%)</i> | <i>Pesha fillestare (g)</i> | <i>Pesha përfundim. (g)</i> | <i>Humbja në peshë (%)</i> |
|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Cikli i parë</b> | -                    | -                | 1804                        | 538                         | 70.2%                      |
|                     | Gëlqere              | 1.75%            | 1602                        | 563                         | 64.9%                      |
|                     | Çimento              | 3%               | 1805                        | 1166                        | 35.4%                      |
|                     | Çim/ hi qymyror      | 3.5%/8%          | 1759                        | 1294                        | 26.4%                      |
| <b>Cikli i dytë</b> | -                    | -                | 538                         | 0                           | 100.0%                     |
|                     | Gëlqere              | 1.75%            | 563                         | 0                           | 100.0%                     |
|                     | Çimento              | 3%               | 1166                        | 204                         | 82.5%                      |
|                     | Çim/ hi qymyror      | 3.5%/8%          | 1294                        | 328                         | 74.7%                      |

Tabela 4.5: Rezultatet e dy cikleve të para të provës së lagies/tharjes



Figura 4.28: Kampioni i argjilës rrënjësore para dhe pas ciklit të parë

Siç edhe mund të shihet në figurë, argjila nuk humbi një sasi të konsiderueshme të masës së saj pas zhytjes në ujë për 5 orë. Po të krahasohet me argjilën e ngjeshur të patrajtuar, e cila humbi rreth 70% të masës, duket qartë se shkalla e kompaktësimit natyror në këtë rast e bën kampionin shumë herë më rezistent nda ujit. Megjithatë, rezultati më interesant në këtë rast është se pas tharjes për 42 orë në temperaturën 70 gradë celcius, kampioni i argjilës zhvilloi një sistem çarjesh në strukturë i cili e bëri të pamundur fërkimin e saj me furçë metalike, çka do përmbyllte ciklin e parë. Kjo për arsyen se sistemi i çarjeve e pamundësonte një gjë të tillë teksa struktura e kampionit u shkëmoq në copa më të vogla. Fotoja në të djathtë, për më tepër, ngjason mjaft me Figurën 3.2 më sipër, ku tregohet sistemi i çarjeve që është zhvilluar në masivin e argjilës në terren.

Rezultatet e provës së lagies/tharjes nxjerrin në pah disa konkluzione:

- Përzierja me 1.75% gëlqere pothuajse nuk pati fare ndikim në rezistencën ndaj cikleve të lagies/tharjes, pasi humbja në masë e kampionit ishte afërsisht e njëjtë me argjilën e ngjeshur të patrajtuar me agjentë kimikë.
- Edhe pse përzierjet me 3% çimento dhe 3.5% çimento/ 8% hi qymyror dhanë rezultate më të mira, fakti se pas ciklit të tretë kampionët e humbën tërësisht masën e tyre - duke patur parasysh se kushti teknik parashikon përsëritjen e provës për 12 cikle - dëshmon se këto sasi të agjentëve kimikë janë gjithsesi të pamjaftueshme për të përfutur rezistencën e kërkuar ndaj cikleve të lagies/tharjes të argjila.
- Argjila rrënjësore i rezistoi më mirë aktivitetit gërryes të ujit sesa argjila e ngjeshur në laborator. Megjithatë pas tharjes në furrë, në strukturën e saj u zhvillua një sistem çarjesh i cili çoi në shkërmoqjen e saj. Një efekt i tillë dëshmon për tendencën e argjilës për të rritur ndjeshëm vëllimin e saj në kontakt me ujin dhe për ta tkurrur atë pas tharjes, çka çon në zhvillimin e çarjeve në strukturë.

## 4.8 Rezultate: rezistenca në prerje në kushtet pa drenim

Në analizimin e problematikës së shfaqur me argjilën e Pliocenit në kodrën e Currilave, një rol të rëndësishëm luan edhe përcaktimi i rezistencës së dheut në kushtet pa drenim. Siç u shqyrtua edhe në kapitujt e mëparshëm, rrëshqitja periodike që ndodh në shpat vjen si pasojë e një procesi tjetërsimi të materialit të argjilës, e shoqëruar me zhvillimin e një sistemi çarjesh dhe me ngopjen me ujë të materialit të shkrifëruar, çka eventualisht rezulton në rrëshqitjen e dheut përgjatë shpatit. Prandaj, përcaktimi i rezistencës së dheut në kushtet pa drenim dhe ndikimi që kanë te ky parametër agjentët kimikë në përzierjen me argjilën, na ndihmon të krijojmë një ide më të qartë sa i përket qëndrueshmërisë së shpatit.



**Figura 4.29:** Argjila në gjendje të rrjedhshme pasi ka ndodhur rrëshqitja

Metodika e përdorur në analizë bazohet te rezultatet e nxjerra nga prova e rënies së konit për përcaktimin e kufijve të Atterberg-ut. Parametri i rezistencës në kushtet pa drenim përcaktohet zakonisht nga prova e rezistencës në shtypjen njëboshtore dhe prova e triaksialit, por edhe në saje të një sërë formulash empirike nga literatura që lidhin pikërisht metodën e rënies së konit me këtë parametër ([Strozyk & Tankiewicz, 2013]; [Nagaraj et al., 2012]; [Tanaka et al., 2012]). Procedura e rënies së konit, sipas [BS EN ISO 17892-6:2017], përcakton kufirin e rrjedhshmërisë së dheut nëpërmjet depërtimit të një koni të lëshuar për 5 sekonda nga pozicioni në kontakt me sipërfaqen e dheut. Depërtimi i konit me 20 mm brenda dheut që ka mbushur vëllimin e enës me përmasa 40 mm lartësi dhe diametër 50 mm, i korrespondon gjendjes së kufirit të rrjedhshmërisë. Sipas [Hansbo, 1957], ekziston një relacion mes rezistencës së dheut në kushtet pa drenim dhe depërtimit të konit, të shprehur me formulën:

$$c_u = K \frac{mg}{d^2} \quad (4.1)$$

- $c_u$ : rezistenca në kushtet pa drenim (kPa)
- $K$ : konstante (pa njësi)
- $m$ : masa e konit (g)
- $g$ : nxitimi i rënies së lirë ( $m/s^2$ )
- $d$ : depërtimi i konit (mm)



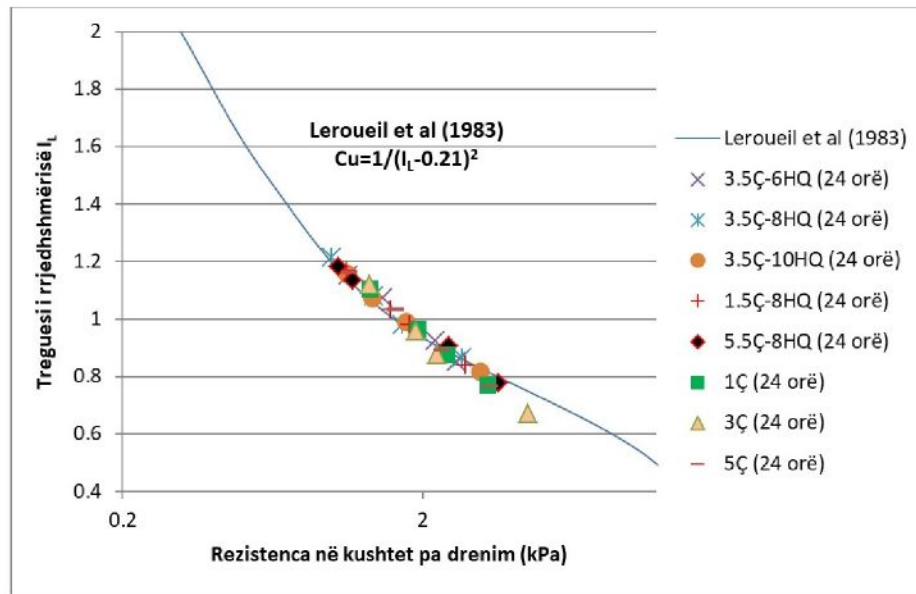
Përmasat dhe pesha e konit variojnë sipas rastit, por për këtë studim u përdor koni me karakteristikat standarde me peshë 80 g dhe kënd të majës 30 gradë. Për këto karakteristika, vlera e konstantes  $K$  mund të merret 0.867 ([Vardanega & Haigh, 2014]). Duke marrë në konsideratë këto të dhëna dhe rezultatet e përfutuara nga prova e rënies së konit për përzierjet me çimento dhe çimento/hi qymyror, të maturuara për 24 orë, u bë përcaktimi i rezistencës në kushtet pa drenim, siç tregohet në Tabelën 23 të Shtojcës nr.8. Në tabelë tregohen vlerat e ndryshme të lagështisë së përzierjeve dhe vlerat korresponduese të depërtimit të konit në milimetra, për të cilat është llogaritur rezistenca në kushtet pa drenim. Për çdo përzierje është kryer prova e rënies së konit për katër vlera të lagështisë. Nga të dhënat e provës u llogarit treguesi (indeksi) i rrjedhshmërisë, sipas relacionit:

$$I_L = \frac{w-PL}{LL-PL} \quad (4.2)$$

Nëpërmjet këtij parametri u bë i mundur krahasimi i rezultateve të nxjerra nga [Hansbo, 1957] me llogaritjet e rezistencës në kushtet pa drenim sipas relacionit që propozon të [Leroueil et al., 1983], i cili bën lidhjen mes treguesit të rrjedhshmërisë dhe rezistencës në kushtet pa drenim për dherat me strukturë të prishur:

$$c_u = \frac{1}{(I_L - 0.21)^2} \quad (4.3)$$

Në Figurën 4.30 tregohet krahasimi mes rezultateve të përfutuara. Vija me ngjyrë blu në grafik tregon relacionin e propozuar nga [Leroueil et al., 1983] ndërsa pikat tregojnë vlerat e rezistencës në kushtet pa drenim, me përzierjet e ndryshme të maturuara për 24 orë, të llogaritura sipas [Hansbo, 1957]. Siç mund të vihet re nga grafiku, rezulton një përputhshmëri e konsiderueshme mes rezultateve të nxjerra nga dy relacionet e propozuara nga autorët. Vlerat e rezistencës në kushtet pa drenim luhaten nga 1 kPa në 4.5 kPa, në varësi të konsistencës së dheut.

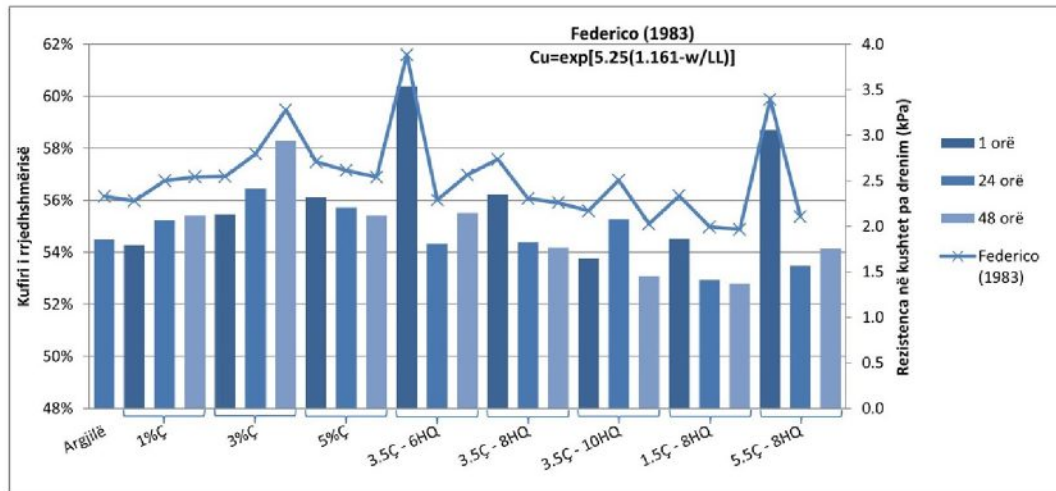


**Figura 4.30:** Krahasoni i vlerave të rezistencës në kushtet pa drenim sipas [Hansbo, 1957] dhe [Leroueil et al., 1983]

Një tjetër relacion i propozuar nga [Federico, 1983] është ai që lidh parametrin e rezistencës në kushtet pa drenim me kufirin e rrjedhshmërisë dhe vlerën e lagështisë. Si në rastin e mësipërm, edhe në këtë rast ky parametër korelohet me një karakteristikë të dheut (kufiri i rrjedhshmërisë) dhe me gjendjen e konsistencës që përcaktohet nga vlera e lagështisë në një moment të caktuar. Relacioni i [Federico, 1983] shprehet si më poshtë:

$$c_u = e^{[5.25(1.161 - w/LL)]} \quad (4.4)$$

Llogaritjet u bazuan te vlerat e kufirit të rrjedhshmërisë për përzierjet me çimento dhe çimento/ hi qymyror, të maturuara për 1, 24 dhe 48 orë. Si vlerë reference për parametrin e lagështisë u konsiderua situata kur dheu i argjilës është në gjendje të rrjedhshme, siç tregohet në Figurën ??, pasi nga vëzhgimet në terren kjo rezulton të jetë gjendja e dheut kur ndodhin rrëshqitjet gjatë sezonit të rreshjeve. Kufiri i rrjedhshmërisë së argjilës për mostrën nr.4 në Tabelën 3.1 u llogarit të jetë 55%, vlerë kjo për të cilën u bë llogaritja e rezistencës në kushtet pa drenim, siç tregohet në Figurën 4.31:



**Figura 4.31:** Luhatja e vlerave të rezistencës në kushtet pa drenim sipas [Federico, 1983]

Në boshtin vertikal në anën e majtë të grafikut tregohen vlerat që arrijnë kufijtë e rrjedhshmërisë (grafiku në formë shtyllash) për çdo rast, teksa në boshtin vertikal në të djathtë jepen vlerat e rezistencës në kushtet pa drenim në kilopaskal (që i referohen vijës së thyer). Nga grafiku mund të vihet re se vlerat e përfutuara të rezistencës në kushtet pa drenim, për materialin e dheut në fazën e rrjedhshme, janë të ngjashme me ato të përfutuara në rastet e mësipërme.

## Kapitulli 5

### Rast studimi - kodra e Currilave, Durrës

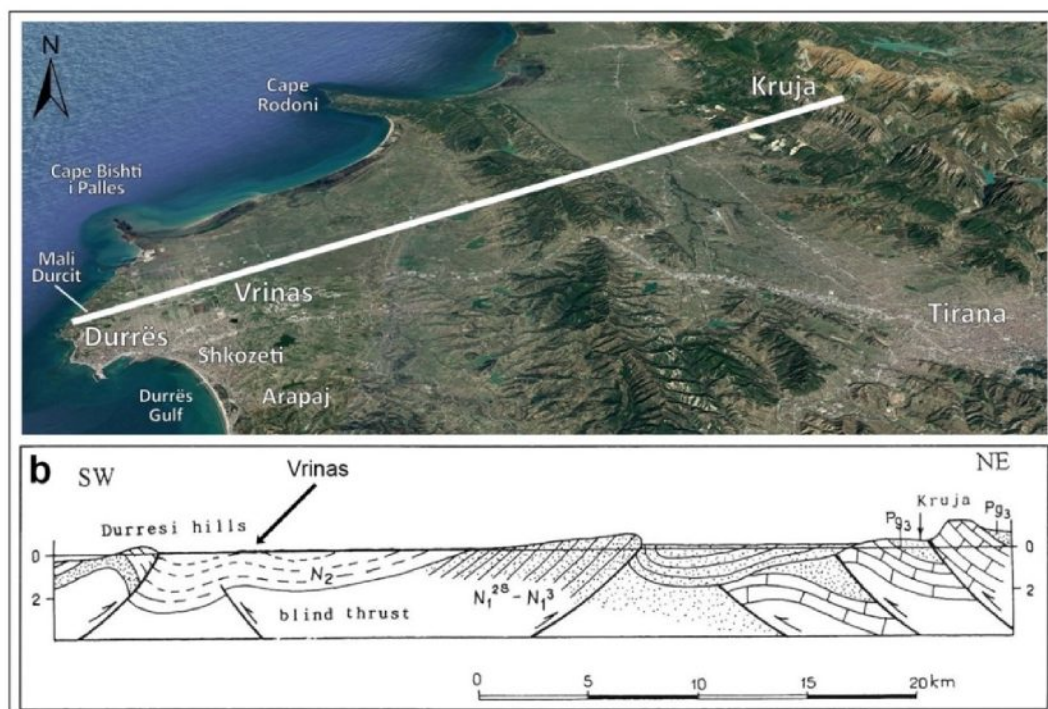
Zona e Kodrës së Currilave në Durrës nga ku u morën kampionët për kryerjen e provave të trajtuara në këtë disertacion, përfaqëson një ndër zonat ku argjilat e Pliocenit shfaqin në mënyrë të vazhdueshme problematikën me qëndrueshmërinë e shpatit. Analiza që vijon nga matjet e kryera dhe rezultatet e nxjerra në këtë kapitull mund shërbejë si një pikënisje të dhënash paraprake për trajtimin e problematikës që shfaqet në këtë zonë, ku pas një studimi më të thelluar dhe matjesh suplementare mund të propozohen mekanizmat e përshtatshëm të stabilizimit të këtij shpati.

Si fillim u analizua literatura sa i përket karakteristikave gjeologjike dhe gjeomorfologjike të zonës së studimit në basenin e Durrësit. Të dhënat përkatëse i shërbejnë edhe analizimit të matjeve të kryera në shpat. Më tej u krye rilevimi topografik i zonës duke përdorur teknologjinë *drone* si dhe instrumentet topografike Total Station dhe GPS Smart Rover, në një sipërfaqe prej 8900 m<sup>2</sup> për përcaktimin e saktë të karakteristikave morfologjike të kodrës. Pas përpunimit të të dhënave u ndërtua DTM i zonës nga ku u bë e mundur nxjerrja e profileve tërthore të kodrës së Currilave. Rilevimi u shoqërua edhe me foto ajrore me *drone* për evidentimin e dëmit që i është shkaktuar sistemit të mëparshëm të stabilizimit të shpatit nëpërmjet rrjetave dhe kanaleve të drenimit. Në radhë të dytë, u pa si i domosdoshëm monitorimi i zhvendosjes që pëson shpati, në një hark kohor prej një viti, për të kuptuar mekanizmin e rrëshqitjes dhe drejtimin e saj. Për këtë u krahasuan pamje satelitore ndër vite dhe u monitorua zhvendosja e kunjave të hekurit të ngulura përgjatë kodrës pas sezoneve të reshjeve. Këto analiza do ndihmonin në nxjerrjen e përfundimit lidhur me pyetjen nëse zhvendosja i nënshtrohet një sipërfaqeje të caktuar rrëshqitjeje, rrethore ose translativë, apo kemi të bëjmë me rrjedhje graduale pranë sipërfaqes.

Në kuadër të identifikimit të shtresave më të dobëta dhe të sipërfaqeve të mundshme të rrëshqitjes, mbi sipërfaqen e marrë në shqyrtim u krye edhe prova e rezistencës elektrike/polarizimit të provokuar me metodikat e "Prerjes Reale" dhe SEV. Prova në fjalë përdoret për identifikimin e shtresave të ndryshme ujëmbajtëse përmes matjes së rezistencës elektrike në shtresë. Në rastin në fjalë u mendua se pjesa e sipërfaqes që ka zhvilluar sistemin e çarjeve do të mbante më shumë ujë sesa zona shkëmbore e argjilës rrënjësore. Kështu mund të bëhej i mundur identifikimi i trupit të shkrifëruar në zonën e rlevimit. Megjithatë kjo provë nuk dha rezultate të sakta për dy arsye: e para, pasi zona ku u kryen matjet përgjatë shpatit ishte e mbuluar nga rrjeta metalike (ndërhyrja e mëparshme për stabilizim) që interferonin me receptorët e ngulur në tokë; arsyeja e dytë është se metoda në fjalë merr në shqyrtim rezistencën elektrike të përçarur në shtresë nga prania e ujit, çka në rastin konkret nuk rezultonte i pranishëm në sasi të konsiderueshme në pjesën e shkrifëruar sa për të nxjerrë rezultate të besueshme me këtë metodë, duke marrë parasysh edhe faktin se provat u kryen në sezonin e verës.

## 5.1 Karakteristikat gjeologjike dhe gjeomorfologjike të zonës së Durrësit

Qyteti i Durrësit është i vendosur përgjatë bregdetit të Detit Adriatik në Ultësirën Perëndimore të Shqipërisë, në atë që quhet Depresioni Periadriatik ([Meço & Aliaj, 2000]) që korrespondon me një basen zhytës aktiv në pjesën perëndimore të brezit orogjenik të Albanideve (zonat Jonike dhe të Krujës, në drejtimin V-J). Brezi dhe baseni zhytës janë pjesë e harkut Dinarik-Albanik-Helenik të orogjenezës Alpine, që paraqet një strukturë tipike *thrust-and-fold*. Zhvendosjet shtytëse në drejtimin perëndimor të mikropllakës Adriatike, gjeneza e të cilës i takon periudhës së Kretakut të vonë, janë ende aktive siç dëshmohet nga sizmiteti i lartë i kohëve të fundit. Baseni zhytës është i mbushur me depozitime detare-kontinentale me trashësi mbi 2 km, të ndikuara nga tektonika sin-sedimentare e periudhës së Pliocenit. Sedimentet e Plio-Kuaternarit mbulojnë me një diskordancë këndore shkëmbinjtë molasikë të Miocenit dhe vazhdojnë e karbonateve të Jurasik-Paleogjenit.



**Figura 5.1:** Pamje 3D e zonës jugore të Durrësit me lokalitetet përreth (imazhi i marrë nga Google Earth Image©2019TerraMetrics); b) Seksion prerës i zonës ku tregohen karakteristikat strukturore të basenit Periadriatik nga Durrësi në Krujë (sipas [Aliaj et al., 1996], te [Meço & Aliaj, 2000]).

Në Figurën 5.1 tregohen karakteristikat e basenit të Durrësit, i cili i përket moshës së Kuaternarit dhe kufizohet nga: i) Mali i Durrësit (187 metra i lartë) i cili shtrihet në drejtimin thuajse veri-jug që nga qyteti i Durrësit deri në Bishtin e Pallës; ii) kodrat e ulëta që shtrihen nga Vrinasi në Arapaj në drejtimin VVP-JJL. Në drejtimin e veriut, baseni ushqehet nga Lumi i Erzenit që rrjedh në drejtimin JL-VP, i cili së bashku me Malin e Durrësit dhe ngritjet e relievit përballë Durrësit dhe Gjirit të Lalzit izolojnë një ultësi të gjerë - Kënetën e Durrësit (Fig.5.2) - e cila u tha dhe bonifikua në shek. XX ([Übersichtskarte von Mittel-Europa, 1914]; [Dardano, 1916]; [Magnani, 1946]).

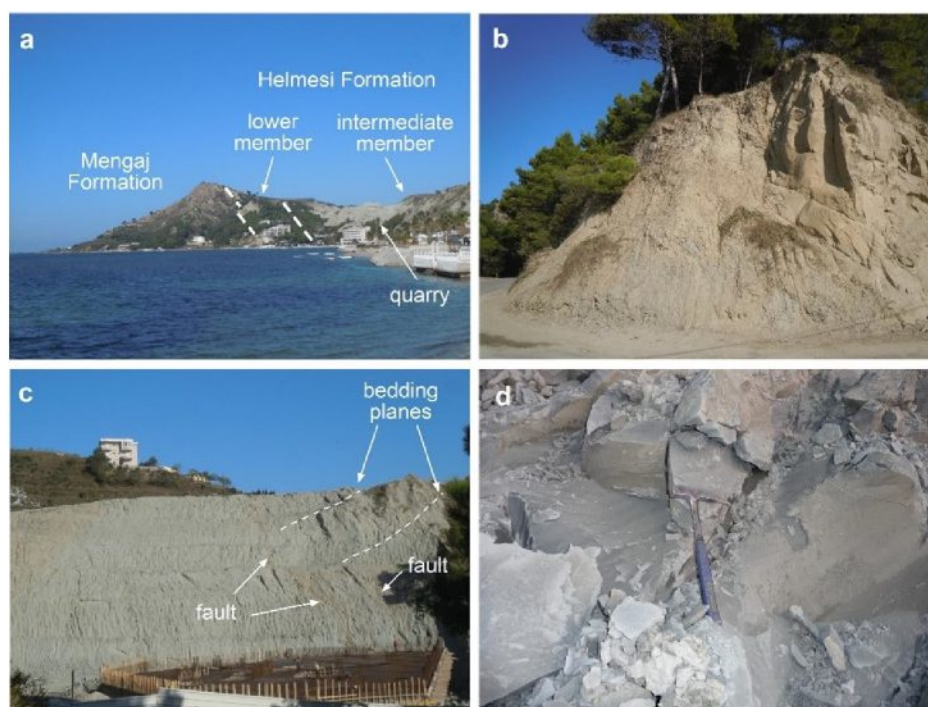
Formacionet e shkëmbit rrënjësor janë qartësisht të ekspozuara në Malin e Durrësit (Figura 5.3/a). Në bazën e tij shfaqen formacionet Mengaj të Mesinianit ( $N_1^3 m_{(c,d)}$  te [Kodra & Naçi, 2012], dhe te [Naçi et al., 2012]), me një trashësi më të madhe se 500 m dhe me përbërje depozitimesh detare në trajtë ranorësh, konglomeratesh dhe argjile me gjips.

Formacionet e Helmasit të Poshtëm të Pliocenit (me trashësi deri në 1200 m) i mbulojnë depozitimet e Mesinianit. Nga përbërja ato mund të ndahen në









**Figura 5.3:** Shkëmbinjtë rrënjësorë në Durrës - a) Pamje nga plazhi i Currilave dhe e kodrës së Malit të Durrësit (187 m) nga ana jugore, me një rënie 40 gradë në lindje që janë formacionet e Maglajt dhe Helmasit (Mesinian dhe Pliocen i poshtëm, respektivisht); b) formacionet e Helmasit si përzierje rërë-argjilë; c) pamje nga gurorja e fabrikës së tullave nga drejtimi veri-perëndimor; d) argjilë e mbikonsoliduar e formacioneve të Helmasit ([Mancini et al., 2020])

## 5.2 Karakteristika të përgjithshme të shpatit të Currilave

Nga inspektimi paraprak në zonën e marrë në analizë evidentohet një zonë e shkrifëruar përgjatë pjerrësisë në pjesën sipërfaqësore të saj. Kjo zonë karakterizohet nga një sistem çarjesh që depërtojnë në brendësi dhe që janë shkaktare për prishjen e strukturës së shtresës së argjilës rrënjësore, siç u përshkrua në kapitujt e mësipërm. Përgjatë pjerrësisë dallohen edhe blloqe të përmasave të ndryshme të cilat gjithashtu kanë zhvilluar të njëjtin sistem çarjesh dhe duket qartazi se janë zhvendosur nga lart drejt fundit të kodrës, siç tregohet në Figurën 5.4.

E përhapur mbi sipërfaqen e shpatit takohet përgjithësisht një bimësi e ulët sezonale me pak trungje halorësh të shpërndarë, e cila nuk luan ndonjë rol të rëndësishëm në përforcimin e qëndrueshmërisë së shpatit. Bimësia e pranishme

(apo mungesa e saj) dëshmon për mungesën e ujërave nëntokësore shtresore në sasi të konsiderueshme, me përjashtim të pjesës sipërfaqësore të truallit të shkrifëruar që e ruan ujin brenda strukturës së çarjeve. Përgjatë sipërfaqes, gjithashtu, evidentohen një sërë kanalesh natyrorë drenimi të krijuar nga ujërat që rrjedhin në sipërfaqe, siç tregohet në figurë.



**Figura 5.4:** Vegetaconi në pjesën e poshtme të kodrës; blloqe argjile me sistem të zhvilluar çarjesh; kanale natyrore drenimi të krijuara nga rrjedha e ujërave sipërfaqësore

Në dekadat e fundit, tentativa të ndryshme janë ndërmarrë nga qeveritë qendrore dhe lokale për stabilizimin e kodrës së Currilave, ku projekti më i madh ishte ai i Ministrisë së Mjedisit në vitin 2014 me një vlerë prej 1.8 milionë eurosh. Projekti konsistonte në mbulimin e shpatit me dy lloje rrjetash, plastike dhe metalike, të ankoruara me gozhdë në shkëmbin rrënjësor argjilor, shoqëruar me një sistem drenazhimi me kanale betoni, si dhe mbjelljen e rreth 50.000 pemëve të reja që do ndihmonin në stabilizimin e pjerrësisë dhe do ta transformonin këtë zonë në një hapësirë të vizitueshme nga turistë e banorë lokalë. Metodika e përdorur për stabilizim, megjithatë, rezultoi e papërshtatshme në lidhje me specifikën e problemitikës të përshkruar më sipër, duke sjellë rrëshqitje sezonale të shpatit, siç tregohet në Figurat 5.5 dhe 5.6.





**Figura 5.5:** Paraqitje e shëtitores në Kodrën e Currilave në vitin 2015 dhe në vitin 2019



**Figura 5.6:** Deformimet dhe çarjet që kanë pëzuar rrjetat mbajtëse për shkak të shkrifërimit të argjilës

Për këtë arsye u pa e arsyeshme të ndërmerrej një inspektim i pjerrësisë për të evidentuar natyrën - apo mekanizmin - e rrëshqitjes dhe faktorët e mundshëm që e nxisin dhe e avantazhojnë atë.

### 5.3 Rilevimi topografik dhe monitorimi i shpatit të Currilave

Me qëllim evidentimin e progresionit zhvendosës të shpatit të marrë në analizë, u krahasuan foto satelitore të zonës ndër vite, para dhe pas ndërhyrjes stabilizuese të vitit 2014. Për këtë u përdorën foto të marra nga Google Earth, portali Asig Geoportal, si dhe foto të kryera me *drone*.

Në Shtojcën nr.9 tregohen fotot e vitit 2007 dhe ato të vitit 2014 gjatë kryerjes së punimeve për stabilizimin e shpatit. Nga fotoja e dytë vihet re sistemi i drenazhit që u ndërtua duke tentuar të ndjekë relievin e kodrës. Në Shtojcën nr.10 tregohet vepra e përfunduar në vitin 2014 ku dallohet edhe bimësia e mbjellë në pjesën e poshtme të kodrës përbri shëtitores së hapur. Megjithatë, në foton e dytë nga viti 2016 vihet re aktivizimi i disa sipërfaqeve të rrëshqitjes përgjatë sipërfaqes me përmasa relativisht të vogla. Trupat e zhvendosur duket se janë krijuar midis kurrizoreve të kodrës që përbëjnë ulluqe natyrore. Gjithashtu, me rrethin me ngjyrë të kuqe në secilën foto tregohet një kanal drenazhi i cili është zhvendosur përgjatë pjerrësisë rrëshqitëse me rreth 20-25 metra - zhvendosje kjo që ka ndodhur për rreth një vit e gjysmë, çka mundëson përlogaritjen e përafërt të shpejtësisë së zhvendosjes në rreth 10-15 metra në vit. Drejtimi i rrështitjeve ka ndodhur sipas pjerrësisë së kodrës në krahun jug-perëndimor, siç tregohet në Figurën 5.7.

Në Shtojcën nr.11 tregohen foto ajrore nga viti 2017 dhe 2018. Në to dallohet qartazi zgjerimi që ka pësuar trupi rrëshqitës përgjatë pjerrësisë krahasimisht me foton e vitit 2016 të treguar më sipër. Në Shtojcën nr.12, fotoja e vitit 2019 evidenton për herë të parë zhvillimin e rrëshqitjes në pjesën e sipërme të kanalit të drenimit, siç tregohet me vijën me ngjyrë të kuqe edhe në Figurën 5.8 të fotos së bërë me *drone* në të njëjtin vit. Shtojca nr.13 bën krahasimin mes muajve gusht dhe nëntor të vitit 2019, nga ku mund të dallohet se në muajin nëntor, për shkak të sezonit dimëror të reshjeve, kemi një avancim të materialit rrëshqitës përgjatë kodrës. Ndërkohë që në Shtojcën nr.14, mes muajve mars dhe qershor 2020 (sezon i thatë) nuk dallohen zhvendosje të materialit të shkrifëruar.

Si përfundim, nga fotot ajrore evidentohet fakti se që në vitin e parë pas ndërhyrjes stabilizuese të 2014-15, në shpat shfaqen rrëshqitjet e para të cilat dëmtojnë rrjetin e drenimit dhe rrjetat që supozohet ta mbajnë dheun në vend. Këto janë rrëshqitje lokale me trup të zhvendosjes rreth 10-15 metra. Avancimi i materialit duket gradual nga viti në vit dhe nuk spikat ndonjë vit specifik gjatë të cilit të vihen re zhvendosje substancialisht më të mëdha se zakonisht.

### 5.3 Rilevimi topografik dhe monitorimi i shpatit të Currilave113



**Figura 5.7:** Foto ajrore e vitit 2016 ku tregohet drejtimi i rrëshqitjeve të para që shfaqen në shpat pas stabilizimit të 2015.

Zhvendosja duket se ka nisur në pjesën qendrore të shpatit dhe gradualisht trupi zhvendosës ka avancuar deri lart, duke iu afruar shtëpive të banimit. Nga krahasimi mes fotove të marra në muaj të ndryshëm, rezulton se aktivizimi i trupit rrëshqitës ndodh gjatë sezonit të reshjeve, ndërsa në muajt e thatë nuk pëson zhvendosje.



**Figura 5.8:** Foto me drone ku dallohen rrëshqitjet aktive pranë zonave të banuara dhe dëmtimet në kanalet e drenimit

Nga fotot ajrore të kryera me *drone* evidentohet, në radhë të parë, afërsia prej pak metrash e objekteve të banimit me buzën e pjerrësisë, çka përbën një rrezik të qenësishëm për banorët lokalë. Zona me ngjyrë të kuqe tregon një rrëshqitje aktive, fare pranë zonës së banimit. Materiali i argjilës përgjatë kësaj zone është me ngjyrë kafe në bezh, çka dëshmon për tjetërsimin që ka pësuar shkëmbi rrënjësor i argjilës që tipikisht ka ngjyrë të kaltër në gri. Për më tepër, siç mund të vihet re në Figurën 5.8, kanalet e drenimit në sipërfaqe janë zhvendosur si pasojë e aktivitetit të rrëshqitjes. Kjo është një situatë që mund të përbëjë rrezik serioz për jetët dhe pronat e banorëve lokalë, me gjithë masat parandaluese me mure mbajtëse përreth pronës që dallohen në figurë.

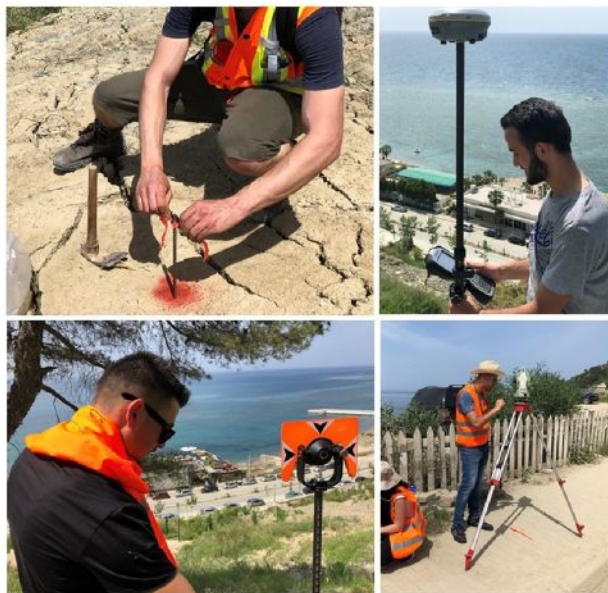
Përveç përdorimit të fotove ajrore, u krye edhe rilevimi topografik dhe monitorimi i shpatit të Kodrës së Currilave. Për këtë qëllim, fillimisht u ndërtua bazamenti mbështetës nëpërmjet matjes së koordinatave të pikave për ndërtimin e një rrjeti, nga i cili më pas mund të nxirren profilet tërthore të pjerrësisë që po studiohet. Bazamenti mbështetës u ndërtua duke përdorur instrumentin që disponon Fakulteti i Gjeologjisë dhe Minierave (FGJM) që është i llojit GPS Trimble R8S, si dhe Total Station Leica TCR 403. Sistemi koordinativ i përdorur ishte ai Gauss-Kruger. Gjithsej në terren u ndërtuan 3 pika me kunja hekuri të cilat u vendosën jashtë zonës së studimit, kryesisht përgjatë rrugës automobilistike në krahun perëndimor. Ndërtimi i këtij bazamenti mbështetës është bërë në kuadrin e praktikave mësimore me studentët e MSH Gjeomatikë, 2018, siç tregohet në Figurën 5.9.

Më pas, në sipërfaqen e studimit u ngulën 18 piketa prej hekuri me gjatësi 40 cm. Pozicionet e nguljes së piketave u shënuan me sprej me ngjyrë të kuqe dhe në pjesën e sipërme të tyre u lidhën shirita të kuq. Këto pika u matën si me pajisjen GPS, ashtu edhe me instrumentin Total Station për të evidentuar ndryshimin në gabim mes matjeve me secilin instrument. Përpunimi i të dhënave u krye duke përdorur programin AutoCad Civil 3D, ndërsa përpunimi imazherik i fotove të *drone*-it është bërë duke përdorur programin Pix4D si dhe 3D Survey.

Monitorimi i parë dhe i dytë u kryen më 2 maj dhe 6 dhjetor 2018, ndërsa monitorimi i tretë më 11 qershor 2019. Rezultatet e monitorimit dhe seksionet e prerjeve tërthore tregohen në Figurën 5.10. Në figurë tregohet zona prej 8900 m<sup>2</sup> që u zgjodh për monitorim, së bashku me pikat e monitorimit dhe pesë seksione tërthore që u nxorën nga analizimi i të dhënave. Në Shtojcën nr.15 dhe Shtojcën nr.16 tregohen prerjet tërthore të këtyre seksioneve. Seksionet II-II dhe III-III - siç dallohet edhe në figurë - përcaktojnë zonën e tjetërsuar me ngjyrë kafe të shpatit ku lëvizja e dheut është më aktive. Nga prerjet tërthore mund të dallohet se nga aspekti morfologjik kemi të bëjmë me një shpat me lartësi rreth 55 metra dhe pjerrësi rreth 30 gradë, që qëndron



### 5.3 Rilevimi topografik dhe monitorimi i shpatit të Currilave115



**Figura 5.9:** Procedura e monitorimit të shpatit përmes nguljes së piketave të hekurit dhe matjes së pikave me GPS dhe Total Station



**Figura 5.10:** Seksionet e prerjeve tërthore të kodrës së Currilave dhe piketat e monitorimit 2018-19



relativisht e pandryshuar përgjatë të pesë seksioneve të zonës së marrë në analizë. Gjithashtu në figurë tregohet simbologjia e përdorur për zhvendosjen e piketave në kohë të ndryshme. Kështu, katrori me ngjyrë të kuqe simbolizon piketat e majit 2018, katrori me rrethin e brendashkruar dhe kryqin me ngjyrë të verdhë simbolizon pozicionin e piketave në dhjetor të 2018, dhe rrathët bashkëqendrorë me ngjyrë të kuqe, ato të qershorit 2019. Në shembullin e treguar në figurë piketa ka pësuar një zhvendosje prej 39 centimetrash në drejtimin jug-lindor.

Problemi kryesor që u has me procesin e monitorimit ishte se shumë prej piketave janë gjetur më pas të shkulura e të hedhura, çka e bëri më të vështirë procesin e evidentimit se cila prej tyre ishte zhvendosur së bashku me dheun dhe cila ishte shkulur qëllimisht. Kështu, nga 18 piketa që u ngulën fillimisht, 13 u lokalizuan herën e dytë dhe vetëm 9 herën e tretë, siç evidentohet edhe nga Figura 5.11.



**Figura 5.11:** Zhvendosja e piketave përgjatë kodrës së Currilave 2018-19

Këto vëzhgime na çojnë drejt konkluzionit se mekanizmi i rrëshqitjes nuk është ai tipiku që ndodh në dhera - ku zhvillohet një sipërfaqe këputjeje rrethore apo translative - që aktivizohet si pasojë e sforcimeve që lindin në shtresë. Sidoqoftë, nga analizimi i të dhënave (Fig. 5.11) evidentohet fakti se zona më aktive e zhvendosjes është ajo mes seksionit II-II dhe seksionit III-III, ku duket se piketa ka pësuar një zhvendosje përgjatë pjerrësisë. Shpejtësia e zhvendosjes, në këtë rast, korrespondon me atë të evidentuar në Figurën 5.7, pra rreth 10-15 metra në vit. Gjithashtu, piketa në seksionin V-V është lokalizuar në fundin e pjerrësisë në matjen e tretë. Nga ana tjetër, nëse mungesën e katër prej piketave të rreshtit të dytë në matjen e dytë dhe të tretë e interpretojmë si për shkak të zhvendosjes së dheut (dhe jo shkuljes së qëllimshme), atëherë dilet në konkluzionin se pjesa e poshtme e kodrës në kuotën 15-20 metra është ajo më aktive. Nëntë prej piketave në pjesën e sipërme të kodrës nuk kanë

pësuar zhvendosje të konsiderueshme (më shumë se 30 cm).

Në këtë rast, siç u përmend edhe në kapitujt paraardhës, kemi të bëjmë me avancimin gradual të pjesës sipërfaqësore të argjilës që zhvillon një sistem çarjesh përmes së cilave depërton uji. Kjo shpjegon edhe arsyen pse ndërhyrja me rrjeta dhe ankora rezultoi totalisht e papërshtatshme. Rrëshqitjet e këtij lloji mund të kategorizohen si "rrjedhje sipërfaqësore" me thellësi të cekët të trupit lëvizës deri 1.5-2 metra, ku zhvendosja e materialit të dheut poshtë, gradualisht aktivizon edhe pjesën e sipërme të kodrës.

## 5.4 Konkluzione

Nga analiza më sipër e bazuar në rilevimin në terren, krahasimin e fotove ajrore ndër vite dhe monitorimin e lëvizjeve që pëson shpati në zonën e Currilave, përforcohen konkluzionet e nxjerra më sipër se mekanizmi i rrëshqitjes nuk është ai tipik si në dhera. Pra në këtë rast nuk kemi të bëjmë me një apo disa shtresa ku aktivizohen parametrat mekanike të kohezionit dhe këndit të fërkimit të brendshëm të cilat përcaktojnë rezistencën në prerje. Në studimin në fjalë duhet bërë dallimi mes argjilës rrënjësore të mbikonsoliduar - sjellja e së cilës është si një material i çimentuar i qëndrueshëm - dhe pjesës sipërfaqësore deri në thellësinë 1.5-2 metra që sillet si material i shkrifët. Ky material i sipërfaqes është shkrifëruar si pasojë e sistemit të çarjeve që janë shfaqur në strukturën e argjilës rrënjësore nga bymimi dhe tkurrja që ajo pëson në sezona të ndryshme reshjesh apo thatësire. Kjo shpjegon faktin se pse përgjatë pjerrësisë takohen edhe blloqe të ardhura nga sipër - në sezonet e thata zhvendosja e dheut ka më tepër tipare të rrokullisjes së blloqeve të argjilës që shpëputen nga struktura rrënjësore. Ndërsa në sezonet e reshjeve, me depërtimin e ujit brenda sistemit të çarjeve, argjila kthehet në gjendje të rrjedhshme sa i përket konsistencës dhe zhvendosja e dheut merr më tepër tiparet e rrjedhjes sipërfaqësore në të cilat rolin e sipërfaqes së rrëshqitjes e luan vetë argjila rrënjësore e patjetërsuar. Në këto raste kemi edhe zhvendosjet më të konsiderueshme të argjilës.

Ndërhyrjet e mëparshme për stabilizimin e kodrës së Currilave nëpërmjet ankorimit dhe rrjetave e kanë trajtuar problemin si të kishim të bënim vetëm me një shkëmb rrënjësor. Duke neglizhuar tërësisht tendencën për të ndryshuar vëllimin dhe për të formuar çdo sezon reshjesh një sipërfaqe të shkrifëruar, këto masa rezultuan të papërshtatshme në planin afatgjatë, edhe pse synonin zvogëlimin e trashësisë së trupit lëvizës.

## Kapitulli 6

### Përfundime dhe rekomandime

Ky studim rreket të paraqesë një panoramë të përgjithshme sa i përket përdorimit të materialeve të çimentos, gëlqeres dhe hirit qymyror si agjentë kimikë në stabilizimin e argjilave të Pliocenit të poshtëm, të kampionuara në zonën e Currilave në Durrës. Metodika e përdorur bazohet kryesisht te rezultatet e nxjerra nga provat laboratorike dhe matjet në terren, duke cekur edhe aspekte të tjera si kostot apo impakti mjedisor. Agjentët kimikë që u përdorën për këtë studim janë materiale të cilat gjenden në qarkullim në tregun vendas, si çimentoja dhe gëlqerja, ose janë lehtësisht të aksesueshëm si dampat e hirit qymyror të zonës së Maliqit afër Korçës.

Argjilat e Pliocenit u trajtuan në këtë studim si dhera karakteristika më problematike e të cilave është tendenca për t'u bymyer, çka u evidentua nga përcaktimi në laborator i vlerës së parametrut të Aktivitetit, që luhatet në 0.9-1.1, si dhe nga korrelacionet e aftësisë së bymimit me treguesin e plasticitetit dhe kufirin e rrjedhshmërisë. Sasia e agjentëve që përdoren në çdo rast për stabilizim kushtëzohet nga rezultatet që synohet të arrihen. Në këtë studim, megjithatë, u përcaktuan sasi të minimale të nevojshme për rritjen e pH-it deri në vlerën e domosdoshme për zhvillimin e reaksioneve kimike. Gjatë provave u vëzhgua në disa raste edhe efekti i përdorimit të sasive poshtë dhe sipër këtyre vlerave.

Sa i përket ngjeshmërisë së argjilave, përdorimi i 3% çimento, 1.75% gëlqere dhe 3.5Ç/8HQ solli një sheshim të formës së kurbës së ngjeshmërisë, përveçse zvogëlim të vlerës maksimale të peshës së thatë dhe rritje të lagështisë optimale - të gjitha këto pasoja të pritshme të aglomerimit dhe flokulimit të grimcave të argjilës. Procesi i aglomerimit, pra i bashkimit të grimcave duke rritur përmasat, manifestohet edhe në sjelljen plastike të dheut. Me shtimin e agjentëve kimikë dhe të periudhës së maturimit, sjellja plastike e përzierjeve ndryshoi nga argjilë me plasticitet të lartë (CH), në pluhur me plasticitet të lartë (MH).

Në analizimin e ndikimit të agjentëve në kufijtë e Atterberg-ut u morën në konsideratë sasi që luhateshin sipër dhe poshtë vlerave të paracaktuara, si dhe periudha të ndryshme maturimi. Nisur nga kohëzgjatja e zhvillimit të reaksioneve, për gëlqeren periudhat e maturimit arrinin deri në 28 ditë, ndërsa për çimenton dhe hirin qymyror deri në dy ditë. Nga rezultatet e përfutuara mund të dilet në përfundimin se parametri i treguesit të plasticitetit pëson një ulje të konsiderueshme, sidomos me rritjen e sasisë së çimentos. Çimentoja duket se luan një rol më të rëndësishëm sesa hiri qymyror, megjithëse koha e maturimit është e pamajftueshme për të parë efektet e reaksioneve pucolanike të agjenti i dytë. Në total, vlera e treguesit të plasticitetit u ul me 7.9% për kombinimin 5.5Ç/8HQ pas 48 orësh, krahasimisht me vlerën e argjilës së patrajtuar. Kjo ulje përcakton edhe kalimin e aftësisë së bymimit të argjilës nga "e lartë" bazuar në vlerat e  $PI > 25$  në "mesatar" për  $PI < 25$ , sipas [PCA, 2008]. Rrjedhimisht, edhe vlerat e parametrut të Aktivitetit pësuan ulje prej 0.22, duke e klasifikuar përzjerjen me 5.5Ç/8HQ si dhe inaktiv, çka përbën një të dhënë të rëndësishme në lidhje me zvogëlimin e tendencës për bymym.

Sa i përket bymimit, nga prova me aparatin e odometrit rezultoi se tendenca fillestare e argjilës së ngjeshur për të rritur vëllimin (bymyer) në kontakt me ujë u ul nga 2.37% e lartësisë fillestare në thujse zero me përzjerjen e argjilës me 3% çimento. Rezultatet tregojnë se ndryshimi i përgjithshëm i vëllimit ngeli i njëjtë për shkak të konsolidimit. Periudha e maturimit, nga 7 në 28 ditë, e uli presionin e bymimit nga 70 në 39 kPa. Me shtimin në përzjerje të hirit qymyror dhe me rritjen e periudhës së maturimit, vlera e presionit të bymimit u bë zero dhe ndryshimi i vëllimit (konsolidim) u ul në 0.15 mm për një kampion me lartësi fillestare 20 mm. Rezultatet që lidhen me zvogëlimin e tendencës për të ndryshuar vëllimin janë edhe më të rëndësishme duke patur parasysh ndikimin e cikleve të reshjeve dhe thatësirës mbi argjilën rrënjësore. Ndryshimi i vëllimit si pasojë e kalimit nga një fazë (reshje) në tjetrën (thatësirë) shkakton një luhatje të vëllimit bymim-tkurrje që bëhet shkas për zhvillimin e një sistemi çarjesh i cili praktikisht e copëzon argjilën rrënjësore duke shkatërruar strukturën e saj dhe duke sjellë humbjen e rezistencës. Përzjerja me 3.5Ç/8HQ i rezistoi lagje/tharjeve deri në ciklin e tretë, çka edhe pse përbën një përmirësim të dallueshëm nga argjila e patrajtuar me agjentë kimikë, rezultoi gjithsesi e pamjaftueshme në aspektin afatgjatë. Shtimi i sasisë së agjentëve kimikë do ta përmirësonte rezistencën e argjilave të trajtuara me agjentë kimikë ndaj cikleve të lagjes/tharjes dhe tendencës për të ndryshuar vëllimin.

Kampionët e argjilës u analizuan edhe në aspektin e përfutimit të rezistencës në shtypjen njëboshtore. Nga përzjerja e kampionëve me 3.5Ç/8HQ, të maturuara për 7 dhe 28 ditë, rezultoi një rritje e këtij parametri me një faktor prej 1.52 dhe 2.22, respektivisht, në krahasim me argjilën e patrajtuar me

agjentë kimikë dhe të ngjeshur. Këto vlera rekomandohen në të ardhmen për rritjen e paramatrit të rezistencës në shtypjen njëboshtore. Rezultatet e provës, gjithashtu, dëshmuar një ndryshim të rëndësishëm në sjelljen e kampionit nën ngarkesë, duke kaluar nga një sjellje duktile, në të thërrmueshme (*brittle*).

Nga rezultatet e përfuara nga prova e rënies së konit për përcaktimin e kufijve të rrjedhshmërisë - për përzierje me agjentë të ndryshëm kimikë - u bë i mundur përmes formulave të korrelacionit nxjerrja e vlerave të parametrit të rezistencës në kushtet pa drenim. Rezultatet dëshmuar një konkordancë mes formulës së propozuar nga [Hansbo, 1957] dhe asaj nga [Leroueil et al., 1983]. Vlerat e rezistencës në kushtet pa drenim luhaten nga 1 kPa në 4.5 kPa, në varësi të konsistencës së dheut. Këto vlera u analizuan edhe në raport me formulën e propozuar nga [Federico, 1983] duke përfutur rezultate të ngjashme.

Nga analizimi i një sërë aspektesh të përshkruara më sipër, rezultoi se mekanizmi i shkatërrimit të dheut në kodrën e Currilave bazohet te zhvillimi i një sistemi çarjesh që e shkrifëron pjesën sipërfaqësore të argjilës rrënjësore.

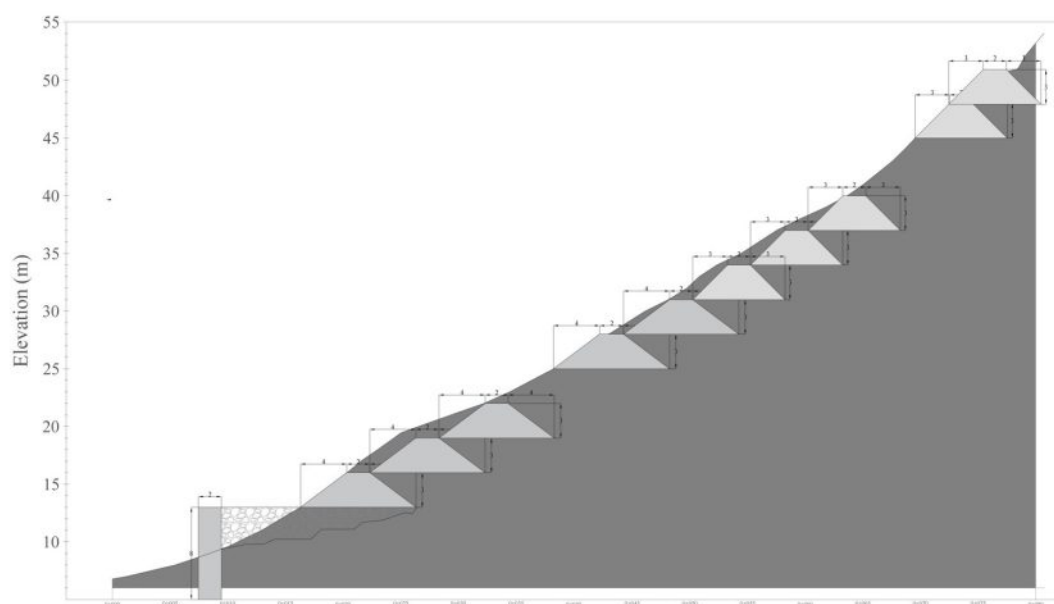
Për stabilizimin e shpatit rekomandohen studime shtesë në këto aspekte:

- Përdorimi i pajisjeve penetrimit të konit (CPT) për të përcaktuar presionin e ujit në poret e argjilës së shkrifëruar, rezistencën e dheut dhe densitetin relativ;
- Përdorimi i pajisjes së Dilatometrit (DMT) për përcaktimin e presionit lateral në qetësi (K0) dhe kufirin mes argjilës normalisht të konsoliduar (NC) dhe asaj të mbikonsoliduar (OC). Ky kufi do përbënte edhe sipërfaqen më të mundshme të rrëshqitjes;
- Dy pajisjet e sipërpërmendura do të shërbenin për të kryer monitorimin periodik të pjerrësisë duke evidentuar evolucionin e gjendjes së sforcuar të dheut dhe zhvillimin e pjesës së shkrifëruar të argjilës;
- Përdorimi i pajisjeve gjeofizike të zhurmave për të bërë të mundur përcaktimin e një profili të saktë të thellësisë së argjilës së shkrifëruar që mbështetet mbi argjilën rrënjësore;
- Përcaktimi i karakteristikave të rezistencës së shtresës së shkrifëruar përmes provave me penetrometër deri në takimin me argjilën rrënjësore;
- Përcaktimi i orientimit të frakturave që lindin në strukturën e dheut si pasojë e bymimit;
- Përcaktimi i presioneve të ujit në pore në raste tërmetesh;



- Përcaktimi i sasisë së nevojshme të agjentëve kimikë në përzierje me argjilën e shkrifët për përftimin e një rezistence ndaj provës së lagies/tharjes deri në 12 cikle.

Meqenëse faktori kryesor që mundëson zhvillimin e sistemit të çarjeve është aftësia e argjilës për t'u bymyer që shoqërohet me prishjen e strukturës, atëherë rekomandohet zbatimi i Metodës së Përzierjes në Sipërfaqe (SMM). Kjo do nënkuptonte shkallëzimin e pjerrësisë çdo 2-3 metra dhe më pas përzierjen e argjilës së shkrifëruar të sipërfaqes me agjentë kimikë. Shtresa do të ngjishej deri në arritjen e parametrave optimale. Kjo do të sillte mënjanimin e tendencës së argjilës për t'u bymyer në kontakt me ujin, teksa shkallëzimet nga pjesët anësore mund të mbuloheshin me gjeomembrana dhe të përforcoheshin me gabione guri. Sigurisht që pjesë e sistemit të stabilizimit duhet të jenë edhe kanalet e drenimit të ujit duke nisur që nga pjesa e sipërme e kodrës. Për shkak të afërsisë së sipërfaqes lëvizëse me banesat në majë të kodrës, një ndërhyrje e tillë është e domosdoshme sa më parë. Pjesa fundore e kodrës, ku depozitimet e shkrifëruara të argjilës favorizojnë ruajtjen e ujit në pore, mund të jetë të përshtatshme për mbjelljen e bimësisë së tipit të shkurreve me rrënjë kryesisht vertikale, të cilat do të rrisnin sadopak kohezionin e masës argjilore. Skematikisht, një ndërhyrje e mundshme paraqitet në Figurën 6.1.



**Figura 6.1:** Paraqitje skematike e ndërhyrjes në kodrën e Currilave

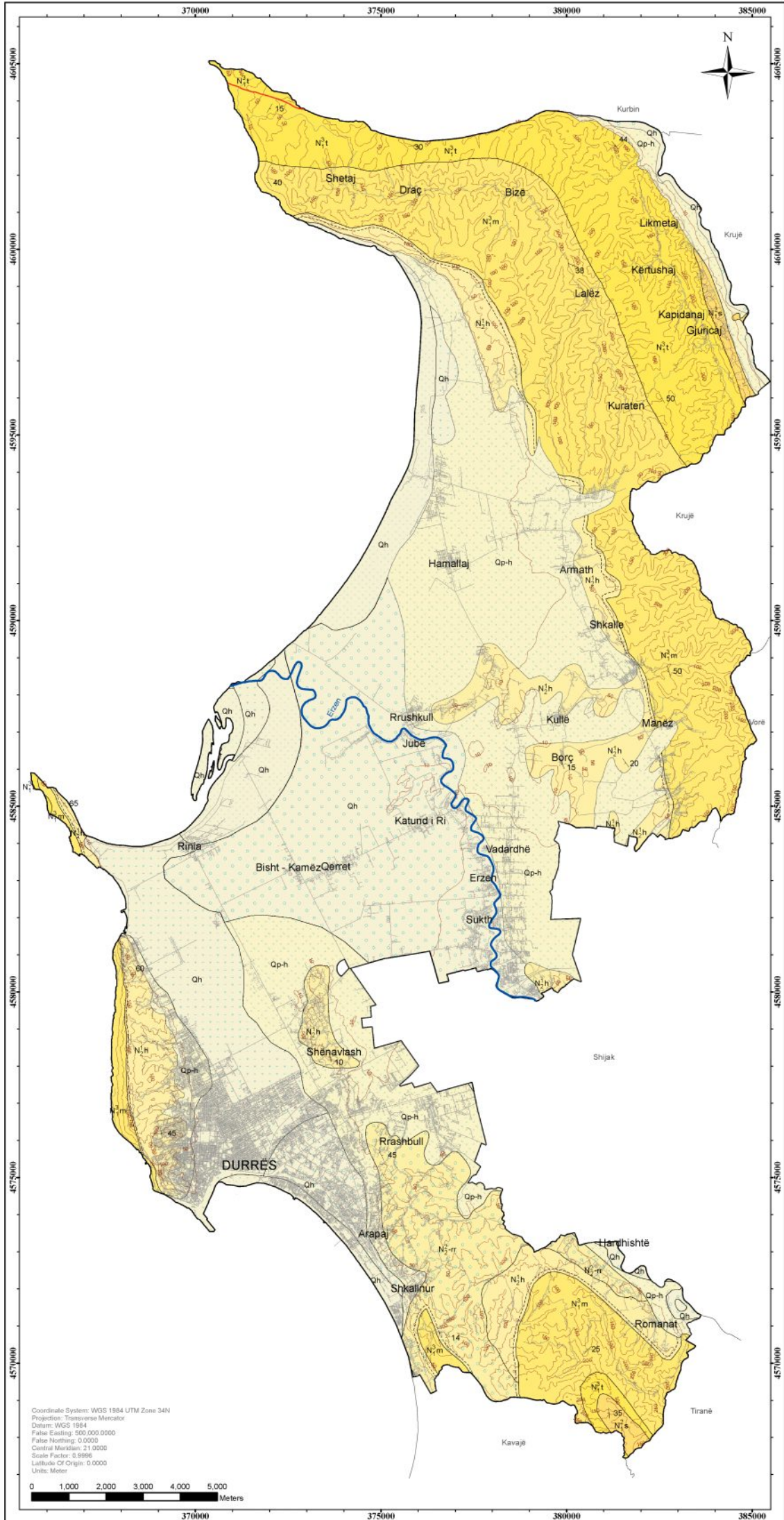
Në aspektin e kostove, metodat e përmirësimit të dherave përbëjnë një alternativë të vlefshme ndaj metodave tradicionale të praktikës inxhinierike

sa i përket stabilizimit të dherave me veti të dobëta fiziko-mekanike. Këto kosto lidhen kryesisht me strukturat e betonit dhe procesin e ndërtimit të tyre, procesin e gërmimit, transportimit dhe depozitimit të materialit të papërshtatshëm, si dhe me vonesat në procesin e zbatimit të projektit që mund të lidhen me terrene të papërshtatshme për kalimin e makinerive të rënda. Nga ana tjetër, përdorimi i këtyre metodikave si alternativë ndaj strukturave të betonit ndikon në uljen e impaktit mjedisor që lidhet me çlirimin e dyoksidit të karbonit gjatë prodhimit të çimentos. Përdorimi i hirit qymyror si agjent stabilizues, për më tepër, bën të mundur riciklimin e tij në industrinë e ndërtimit duke shmangur rreziqet e ndotjes ambientale që lidhen me depozitimin e tij në ambient të hapur.



**A**

**Shtojca**

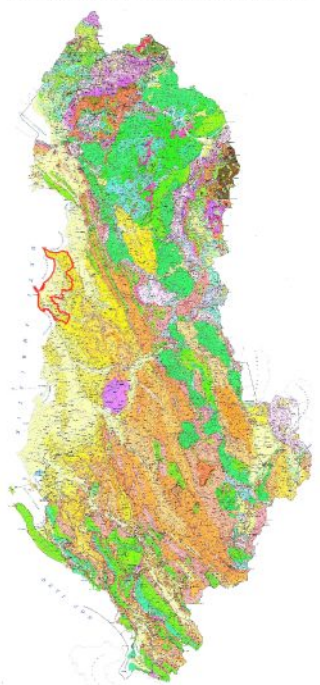


# GEOLOGICAL MAP OF DURRËS MUNICIPALITY

## Legend

- Qh: Holocene. Marine sediments: mainly sands.
  - Qh: Holocene. Marshy-lake sediments: clays, silts, peats.
  - Qh: Holocene. Alluvial sediments: silts, sands, gravels.
  - Qp-h: Pleistocene - Holocene. Mixed alluvial-proluvial sediments: sands, gravels, silts.
  - N<sub>2</sub><sup>rr</sup>: Middle Pliocene (Rrogzina formation). Sandstones, conglomerates.
  - N<sub>2</sub><sup>h</sup>: Lower Pliocene (Helmësi formation). Clays, siltstones, sandstones.
  - N<sub>3</sub><sup>m</sup>: Messinian. Sandstones, clays, evaporites.
  - N<sub>3</sub><sup>t</sup>: Tortonian. Sandstones, clays, conglomerates and lithotamnic limestones.
  - N<sub>3</sub><sup>s</sup>: Serravalian. Clays, sandstones and lithotamnic limestones in the Ionian zone and in the Adriatic depression.
- Normal geologic boundary
  - Unconformable geologic boundary
  - Near vertical fault
  - Strike element of the rocks
  - Contour lines (contour interval 50 m)
  - River
  - Roads network
  - Buildings

## GEOLOGICAL MAP OF ALBANIA





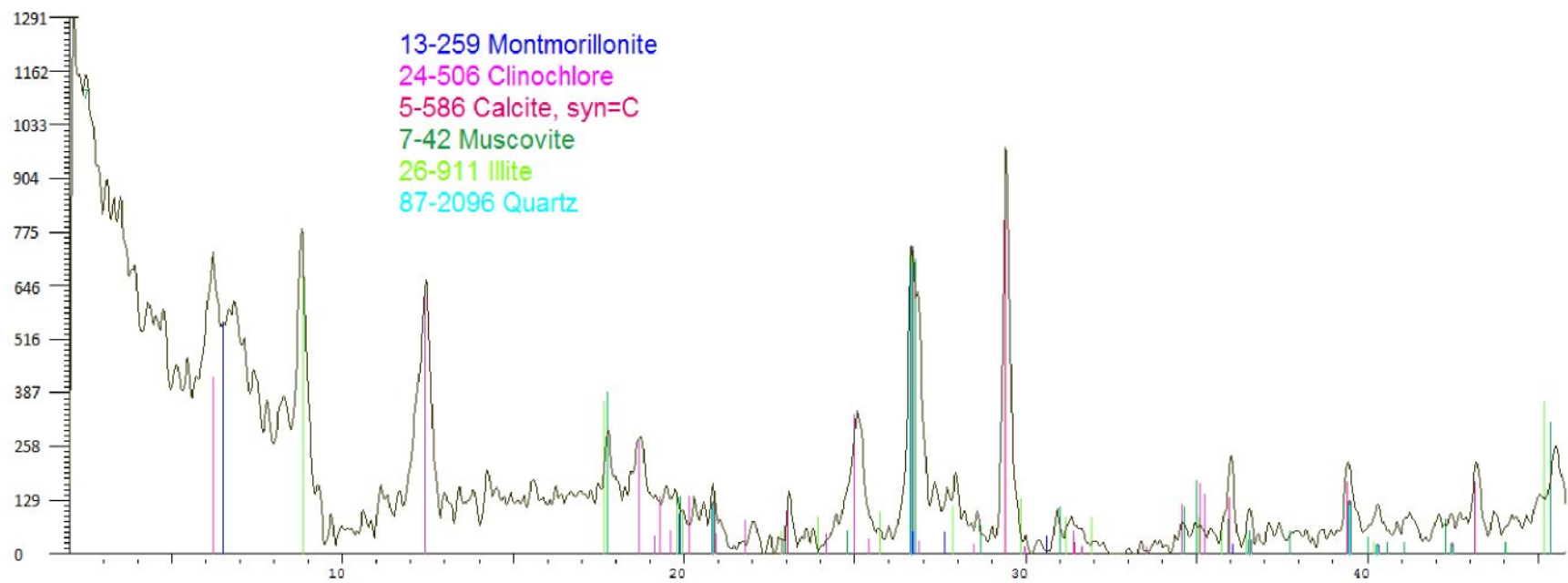


Figura 73: Prova e parë e difraksionit për argjilën



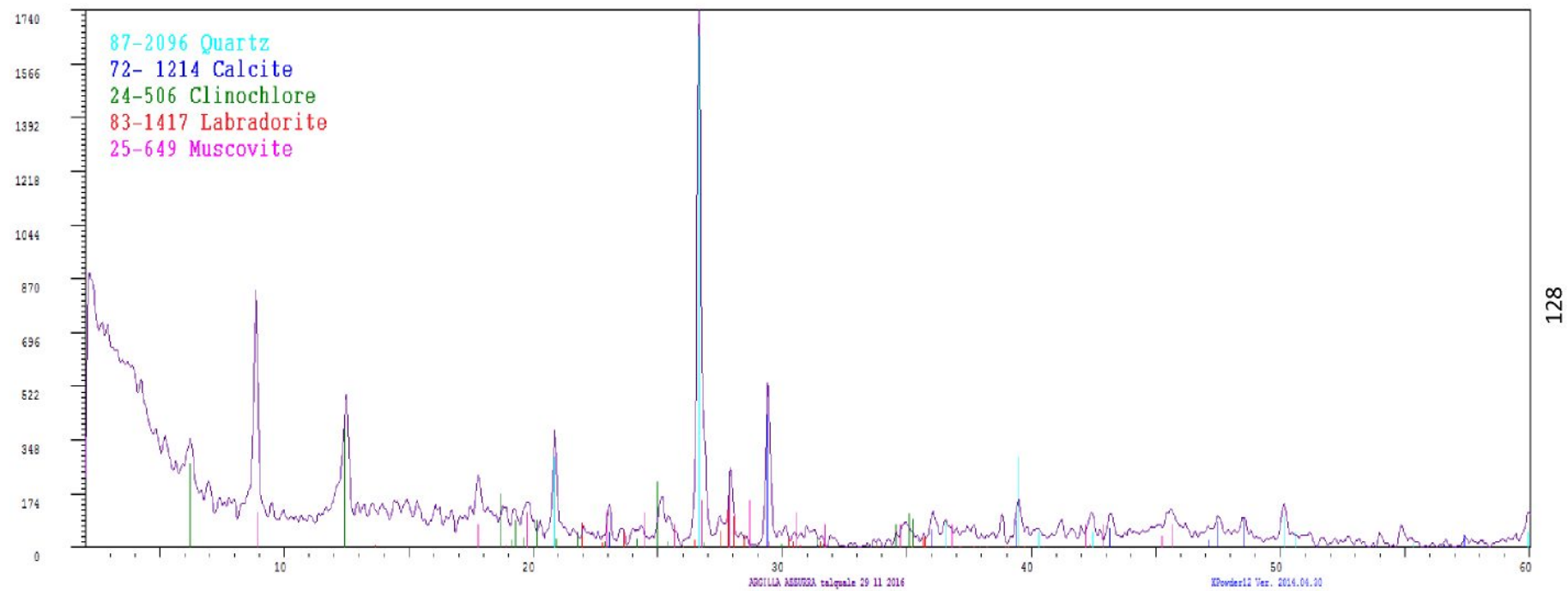


Figura 74: Prova e dytë e difraksionit për argjilën

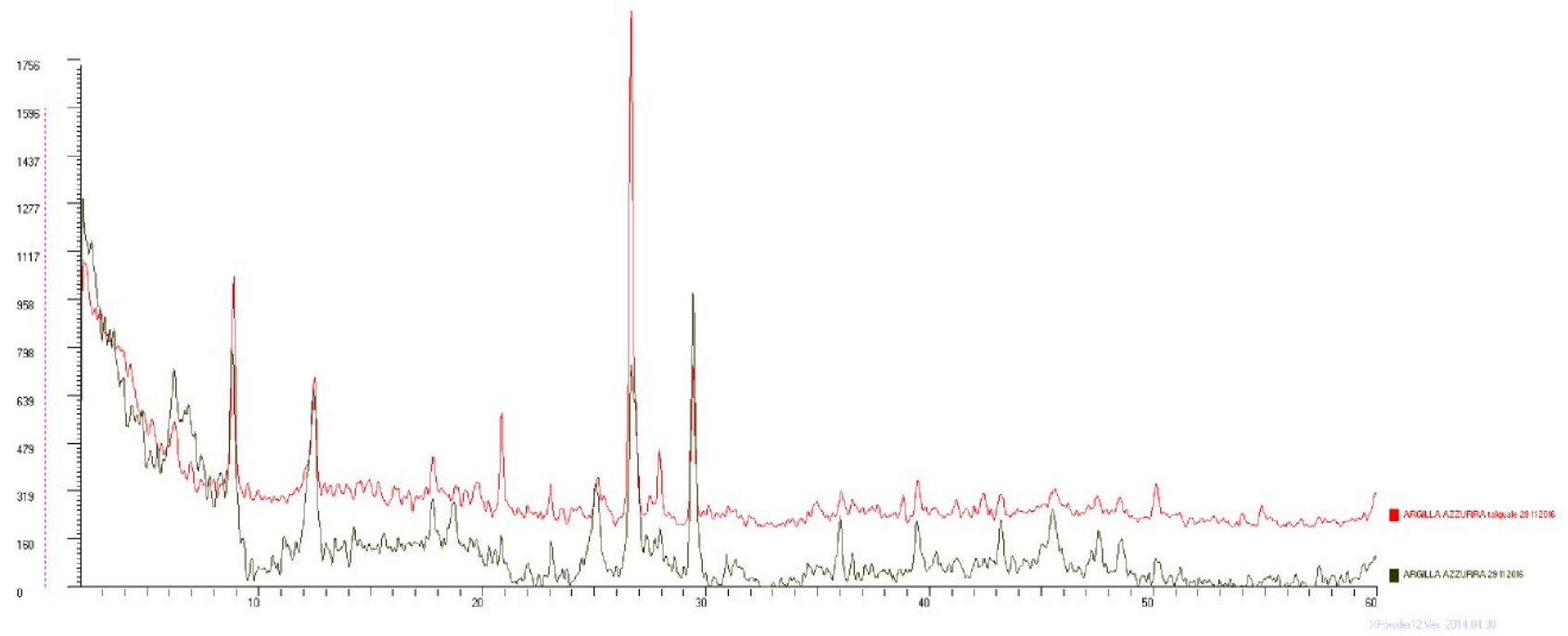


Figura 75: Provat e difraksionit në krahasim me njëra-tjetrën

## Shtojcë 5

Tabela 22: Rezultatet e provës së pH-it për agjentë të ndryshëm

|         | Përqindja e agjentit kimik | Vlera e matur e pH-it |
|---------|----------------------------|-----------------------|
| Argjila | 0                          | 9.53                  |
| Gelqere | 0.75                       | 11.64                 |
|         | 1                          | 11.90                 |
|         | 1.5                        | 12.15                 |
|         | 1.75                       | 12.39                 |
|         | 2                          | 12.52                 |
|         | 3                          | 12.72                 |
|         | 4                          | 12.83                 |
|         | 5                          | 12.87                 |
|         | 6                          | 12.89                 |
|         | 7                          | 12.90                 |
|         | 8                          | 12.91                 |
| Çimento | 1                          | 11.64                 |
|         | 2                          | 12.22                 |
|         | 3                          | 12.39                 |
|         | 4                          | 12.51                 |
|         | 6                          | 12.62                 |
|         | 8                          | 12.68                 |
| G/HQ    | 1.8/8                      | 12.26                 |
|         | 2/8                        | 12.35                 |
|         | 2.1/8                      | 12.39                 |
|         | 2.5/8                      | 12.55                 |
|         | 3.8/8                      | 12.72                 |
|         | 5.8/8                      | 12.84                 |
|         | 7.8/8                      | 12.86                 |
|         | 2/12                       | 12.33                 |
|         | 2.3/12                     | 12.44                 |
|         | 7.8/12                     | 12.86                 |
|         | 2.5/16                     | 12.43                 |
|         | 2.7/16                     | 12.51                 |
| Ç/HQ    | 3C-8FA                     | 12.32                 |
|         | 3.5C-8FA                   | 12.38                 |
|         | 4C-8FA                     | 12.44                 |
|         | 5C-8FA                     | 12.53                 |
|         | 7C-8FA                     | 12.62                 |
|         | 9C-8FA                     | 12.67                 |
|         | 3.5/12                     | 12.35                 |
|         | 3.7/12                     | 12.36                 |
|         | 3.9/16                     | 12.34                 |
|         | 4.1/16                     | 12.36                 |

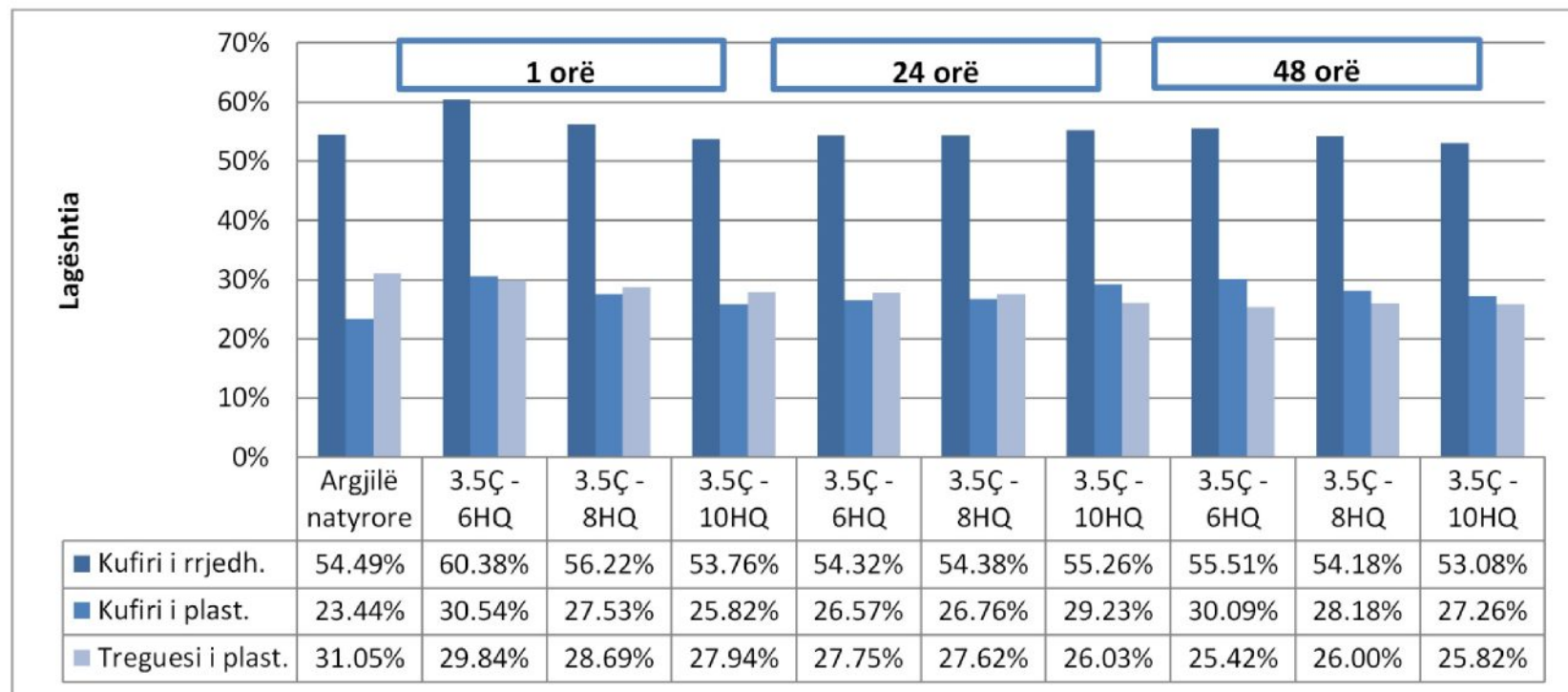


Figura 76: Ndikimi i hirit qymyror në përzierjet me çimenton

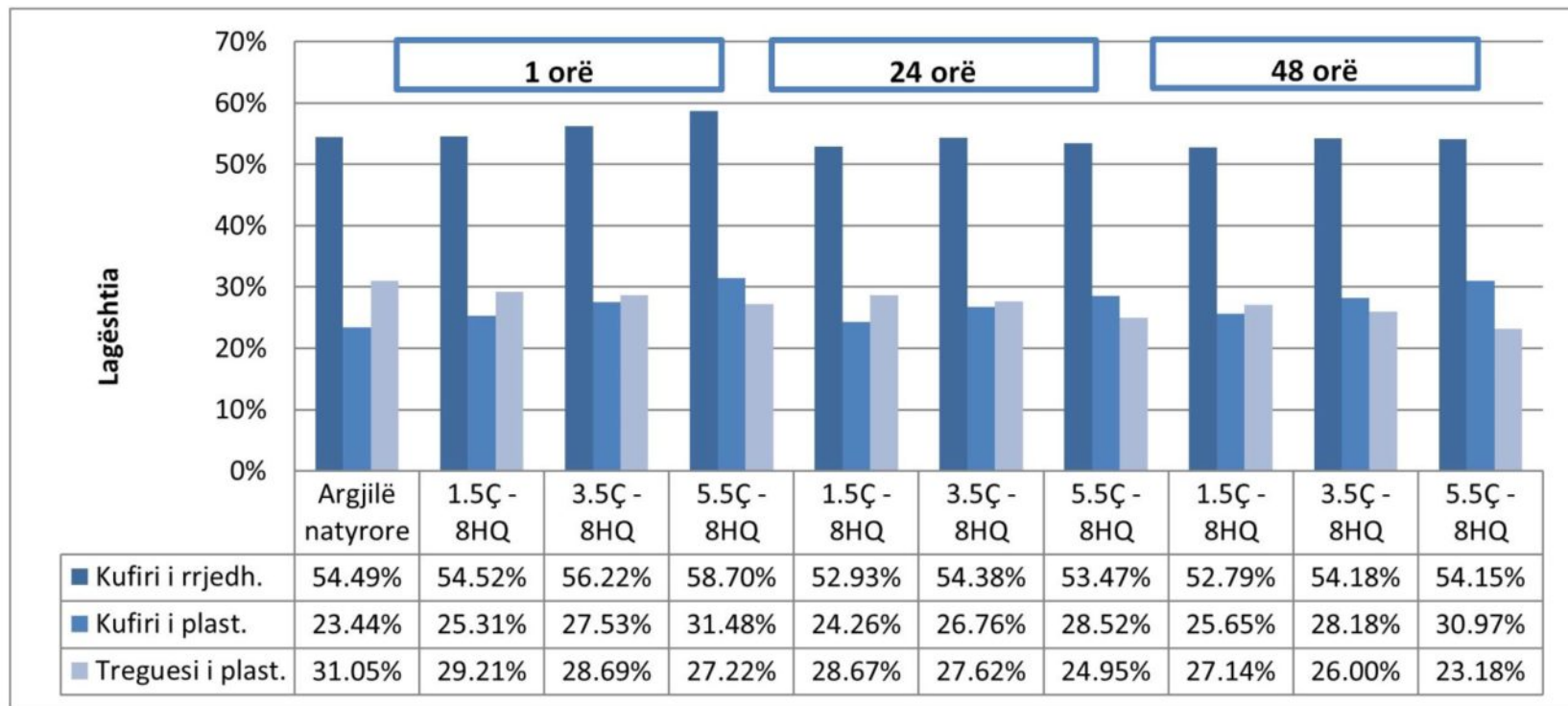


Figura 77: Ndikimi i çimentos në përzierjet me hirin qymyror

## Shtojcë 8

**Tabela 23: Rezultatet e provës së rënies së konit për agjentë kimikë të maturuar për 24 orë**

|           | LL     | PL       | w     | d (mm) | $I_L$ | Cu (kPa) |
|-----------|--------|----------|-------|--------|-------|----------|
| 1%Ç       | 55.2%  | 24.6%    | 48.2% | 14.4   | 0.77  | 3.29     |
|           |        |          | 51.4% | 16.9   | 0.88  | 2.39     |
|           |        |          | 54.1% | 18.8   | 0.96  | 1.93     |
|           |        |          | 58.4% | 22.6   | 1.10  | 1.33     |
| 3%Ç       | 56.5%  | 27.8%    | 47.0% | 12.3   | 0.67  | 4.50     |
|           |        |          | 52.8% | 17.4   | 0.87  | 2.24     |
|           |        |          | 55.2% | 18.9   | 0.96  | 1.90     |
|           |        |          | 59.8% | 22.7   | 1.12  | 1.32     |
| 5%Ç       | 55.7%  | 30.3%    | 49.8% | 14.3   | 0.77  | 3.32     |
|           |        |          | 52.9% | 17.1   | 0.98  | 2.32     |
|           |        |          | 56.5% | 20.5   | 1.12  | 1.62     |
|           |        |          | 59.8% | 24.4   | 1.25  | 1.14     |
| 3.5Ç/6HQ  | 54.3%  | 26.6%    | 50.1% | 16.2   | 0.85  | 2.59     |
|           |        |          | 52.1% | 17.6   | 0.92  | 2.20     |
|           |        |          | 56.3% | 21.5   | 1.07  | 1.47     |
|           |        |          | 58.5% | 24.6   | 1.15  | 1.13     |
| 3.5Ç/8HQ  | 54.4%  | 26.8%    | 50.6% | 15.8   | 0.86  | 2.71     |
|           |        |          | 53.9% | 19.9   | 0.98  | 1.71     |
|           |        |          | 56.5% | 22.2   | 1.08  | 1.38     |
|           |        |          | 60.3% | 26.1   | 1.21  | 1.00     |
| 3.5Ç/10HQ | 55.3%  | 29.2%    | 50.5% | 14.8   | 0.82  | 3.10     |
|           |        |          | 55.0% | 19.7   | 0.99  | 1.75     |
|           |        |          | 57.1% | 22.4   | 1.07  | 1.36     |
|           |        |          | 59.4% | 24.7   | 1.16  | 1.11     |
| 1.5Ç/8HQ  | 52.9%  | 24.3%    | 48.3% | 15.6   | 0.84  | 2.78     |
|           |        |          | 52.4% | 19.4   | 0.98  | 1.81     |
|           |        |          | 53.8% | 20.9   | 1.03  | 1.56     |
|           |        |          | 57.6% | 24.7   | 1.16  | 1.12     |
| 5.5Ç/8HQ  | 0.5347 | 0.285205 | 47.9% | 13.8   | 0.78  | 3.55     |
|           |        |          | 51.1% | 16.7   | 0.91  | 2.43     |
|           |        |          | 56.8% | 24.1   | 1.14  | 1.18     |
|           |        |          | 58.1% | 25.5   | 1.18  | 1.05     |



## Shtojcë 9

a) foto e vitit 2007 (Asig Geoportal)



b) foto e vitit 2014 (Google Eaerth)



## Shtojcë 10

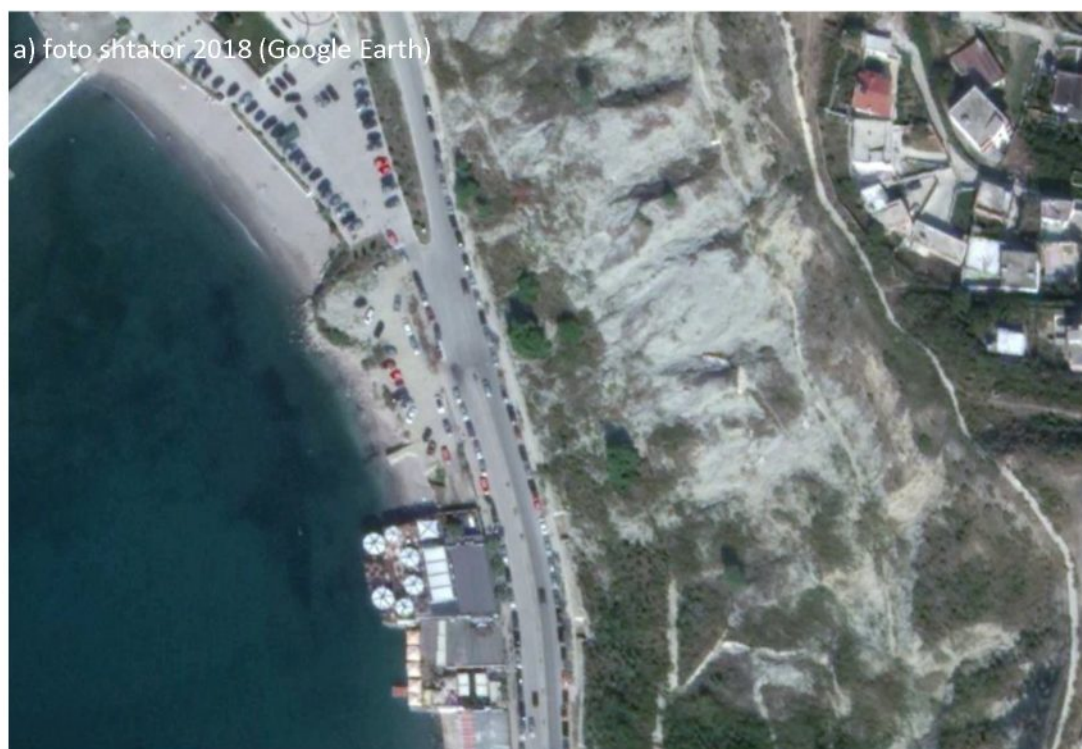




## Shtojcë 11

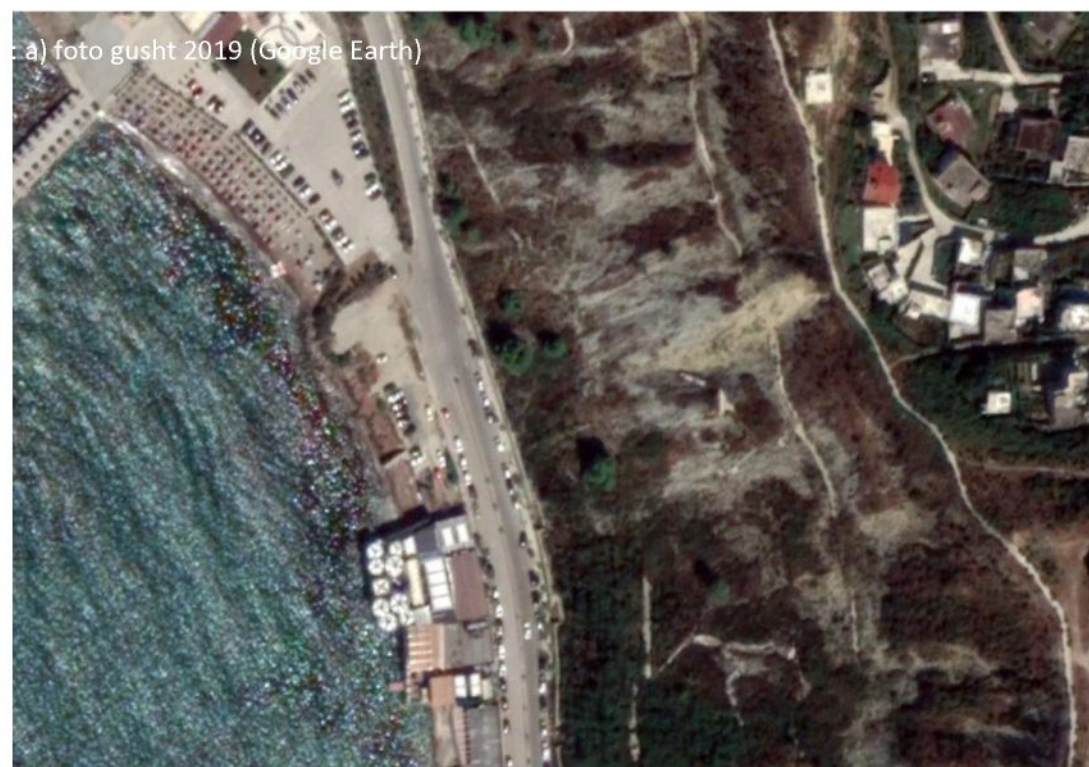


## Shtojcë 12



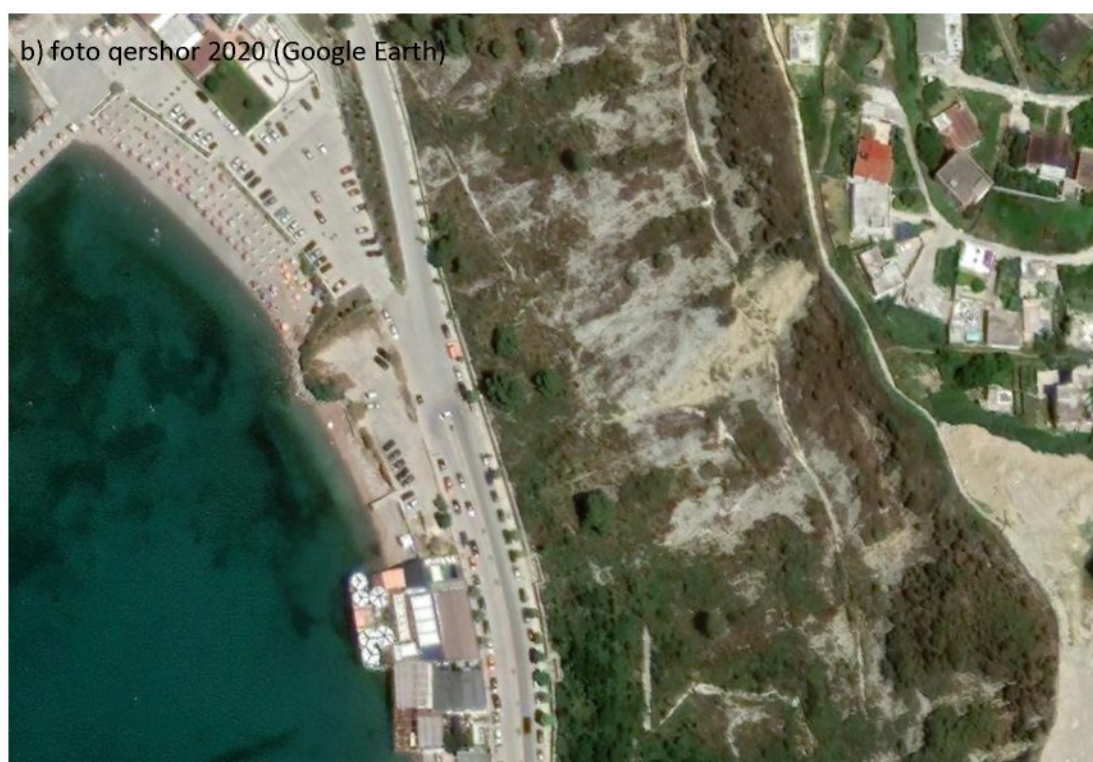


### Shtojcë 13



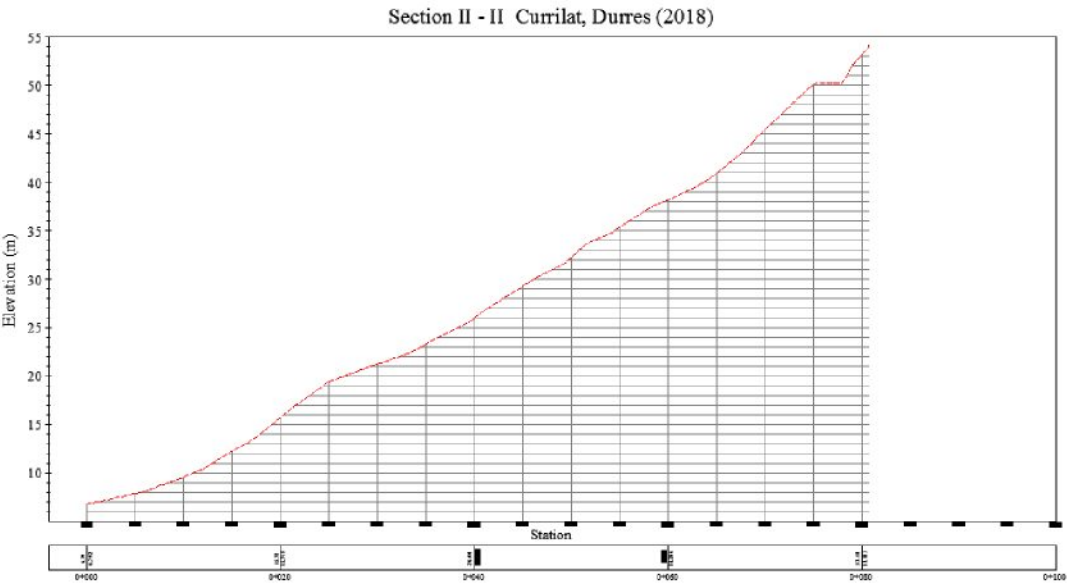
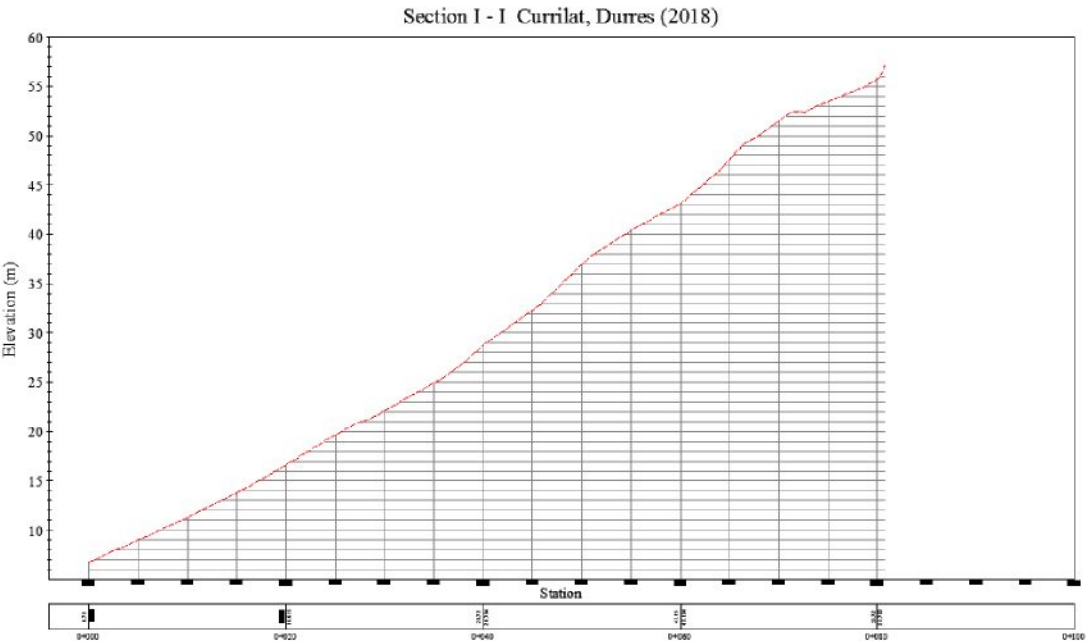


## Shtojcë 14

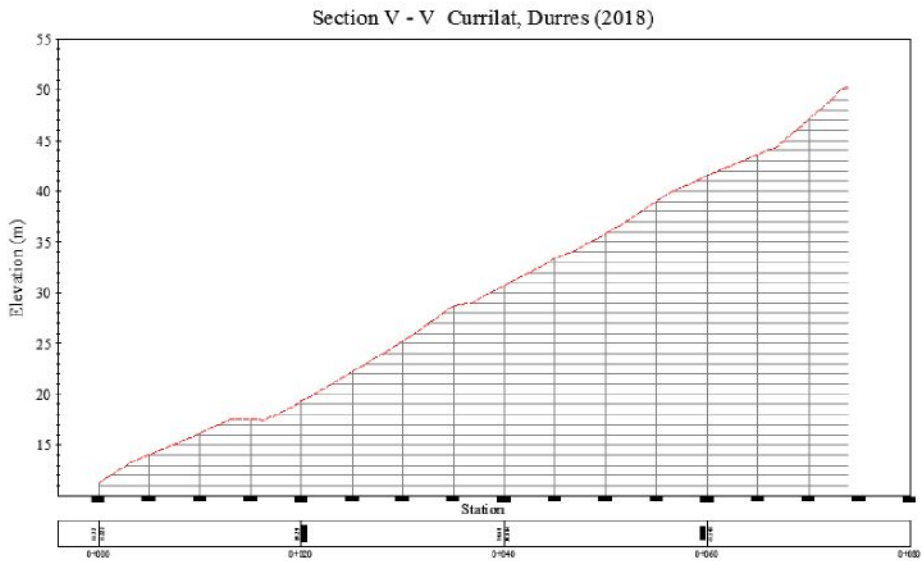
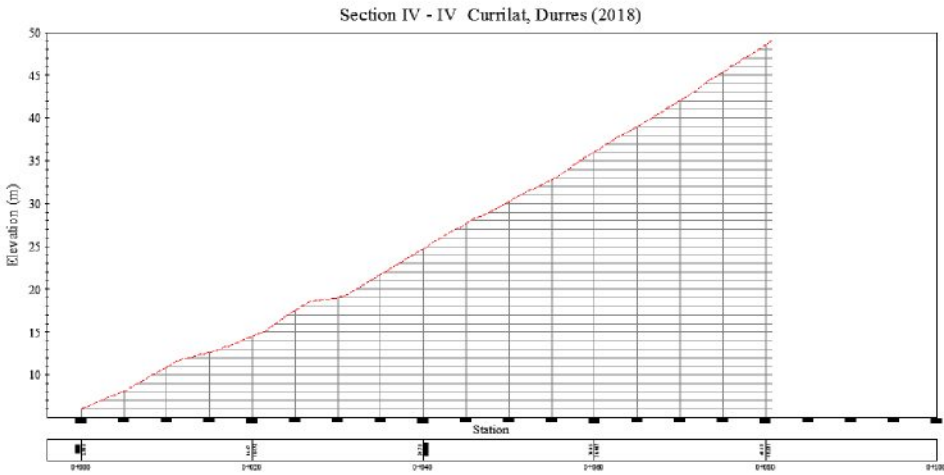
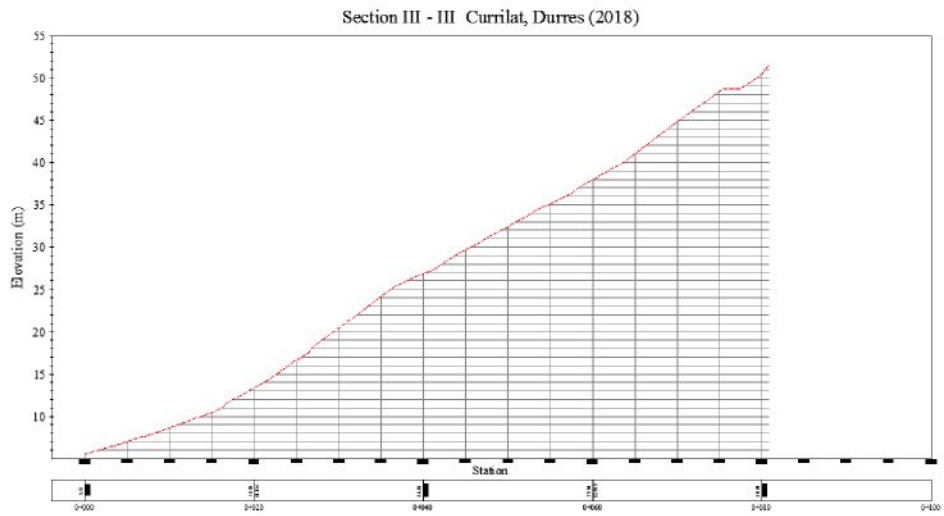




Shtojcë 15



Shtojcë 16





# Bibliografia

- [ASTM C595-03] ASTM C595-03: *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.*
- [ASTM C618-19] ASTM C618-19: *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.*
- [ASTM D422-63] ASTM D422-63: *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*
- [ASTM D559-03] ASTM D559-03: *Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures.*
- [ASTM D4318-17] ASTM D4318-17: *Standard Test Methods for Liquid Limit Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.*
- [ASTM D4546-14] ASTM D4546-14: *Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils.*
- [ASTM D5102-09] ASTM D5102-09: *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures.*
- [ASTM D6276-99] ASTM D6276-99: *Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization.*
- [ASTM D698-00] ASTM D698-00: *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.*
- [Ahnberg et al., 1995] Åhnberg H., Johansson S.E., Retelius A., Ljungkrantz C., Holmqvist, L. Holm, G. (1995): *Cement and lime for deep stabilization of soil.* Swedish Geotechnical Institute, Report No. 48.
- [Ahnberg et al., 2003] Åhnberg H., Johansson S.E., Pihl H., Carlsson T. (2003): *Stabilizing effects of different binders in some Swedish soils*, Proceed. Institut. Civil Eng.-Ground Improv. 7 (1) 9-23.

- [Ahnberg & Johansson, 2005] Åhnberg H. & Johansson S.E. (2005): *Increase in strength with time in soils stabilised with different types of binder in relation to the type and amount of reaction products*, Proceedings International Conference on Deep Mixing, Stockholm 2005, Vol. 1.1, pp. 195-202.
- [Akawwi & Al-Kharabsheh, 2002] Akawwi E. & Al-Kharabsheh A. (2002): *Lime stabilization effects on geotechnical properties of expansive soils in Amman, Jordan*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. Oklahoma States University. f.1-10.
- [Alaj & Numao, 2017] Alaj A. & Numao T. (2017): *Effect of fly ash on setting times of concrete Comparison of result by using Kosovo's and Japan's fly ash*, UBT Annual International Conference, Civil Engineering, Infrastructure and Environment session, Durres, Albania.
- [Aliaj et al., 1996] Aliaj Sh., Melo V., Hyseni A., Skrami J., Mehillka L., Muço B., Sulstarova E., Prifti K., Pashko P. & Prillo S. (1996): *Struktura neotektonike e Shqipërisë dhe evolucioni gjeodinamik i saj*, Archive of Institute of Seismology, Tirana, Albania, 497 pp.
- [Azam & Wilson, 2006] Azam S. & Wilson G.W. (2006): *Volume change behavior of a fissured expansive clay containing anhydrous calcium sulfate*. Proceedings of the Fourth International Conference on Unsaturated Soils. ASCE Press, pp. 906-915.
- [Balmer, 1958] Balmer G. G. (1958): *Shear strength and elastic properties of soil-cement mixture under triaxial loading*. Portland Cement Association Research and Development Laboratories.
- [Bergado et al., 1996] Bergado D. T, Anderson L. R, Miura, N. & Balasubramaniam, A. S. (1996): *Soft ground improvement*, ASCE Press.
- [BS EN ISO 17892-6:2017] BS EN ISO 17892-6:2017: *Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Fall cone test*.
- [BS EN 197-1:2011] BS EN 197-1:2011: *Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements*.
- [Boynton, 1980] Boynton R. S. (1980): *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. John Wiley and Sons.
- [Cerato, 2001] Cerato A. B. (2001): *Influence of specific surface area on geotechnical characteristics of fine-grained soils*. Department of Civil

- and Environmental Engineering University of Massachusetts, Amherst, MA 01003.
- [D'Amico et al., 2008] D'Amico V., Picozzi M., Baliva F. & Albarello D. (2008): *Ambient Noise Measurements for Preliminary Site-Effects Characterization in the Urban Area of Florence, Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America, 98(3), 1373-1388. <http://dx.doi.org/10.1785/0120070231>
- [Dakshanamurthy & Raman, 1973] Dakshanamurthy V. & Raman V. (1973): *A simple method of identifying an expansive soil*, Soil and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanic and Foundation Engineering, Vol. 13 (1), pp. 97-10.
- [Dardano, 1916] Dardano A. (1916): *Carta corografica dell'Albania e regioni contermini del Montenegro, Serbia e Grecia*. Istituto Geografico De Agostini, Novara.
- [Das, 1990] Das B. M. (1990): *Principles of foundation engineering*, Second edition PWS-Kent Pub. Co., 1990, f. 760-763.
- [Das, 1994] Das B. M. (1994): *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS-Kent Publishing Company, Boston, 3 rd ed.
- [Eades & Grim, 1966] Eades J. L. & Grim R. E. (1966): *A quick test to determine lime requirements for soil stabilization*, Highway Research Record, 139: 61-72.
- [Federico, 1983] Federico A. (1983): *Relationships (Cu-w) and (Cu-s) for remolded clayey soils at high water content*, Riv Ital Geotech 17(1):38-41.
- [Foti et al., 2011] Foti S., Parolai S., Albarello D. & Picozzi M. (2011): *Application of Surface-Wave Methods for Seismic Site Characterization*, Surv. Geophys., 32,777-825.
- [Hansbo, 1957] Hansbo S. (1957): *A new approach to the determination of the shear strength of clay by fall-cone test*, Proceedings of Royal Swedish Geotechnical Institute, vol 14, pp. 7-47
- [Harichane et al., 2010] Harichane K., Ghrici M., Khebbizi W. & Missoum H. (2010): *Effect of the Combination of Lime and Natural Pozzolana on the Durability of Clayey Soils*, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, EJGE Vol. 15 [2010], Bund. L.



- [Hilt & Davidson, 1960] Hilt G.H. & Davidson D.T. (1960): *Lime fixation in clayey soils*, Bulletin No. 304, Highway Research Record, Washington, D.C., 20-32.
- [Hinzen et al., 2004] Hinzen K.-G., Scherbaum F. & Weber B. (2004): *On the resolution of H/V measurements to determine sediment thickness, a case study across a normal fault in the Lower Rhine embayment, Germany*. J. Earthq. Eng., 8, 909-926.
- [Hopkins et al., 2002] Hopkins T. C., Beckham T. L., Sun L., Ni B. & Butcher B. (2002): *Long-term benefits of stabilizing soil subgrades*. Kentucky Transportation Center, University of Kentucky.
- [Hopkins, 2008] Hopkins T. C. (2008): *Long-Term In Situ Characteristics of Lime Stabilized Soil*. Kentucky Transportation Center, University of Kentucky.
- [Ismail, 2006] Ismail H. A. H. (2006): *Treatment and improvement of the geotechnical properties of different soft fine-grained soils using chemical stabilization*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg eingereicht, f. 14.
- [Ismail & Badry, 2013] Ismail H. A. H. & Badry M. M. (2013): *Lime Chemical Stabilization of Expansive Deposits Exposed at El-Kawther Quarter, Sohag Region, Egypt*, Geosciences 3(3): 89-98 DOI: 10.5923/j.geo.20130303.02
- [Jamsawang et al., 2017] Jamsawang P., Nuansrithong N., Voottipruex P., Songpiriyakij S. & Jongpradist P. (2017): *Laboratory investigations on the swelling behaviour of composite expansive clays stabilized with shallow and deep clay-cement mixing methods*, Applied Clay Science, Volume 148, pp. 83-94.
- [Janz & Johansson, (2002)] Janz M. & Johansson S-E. (2002): *The Function of Different Binding Agents in Deep Stabilization*, Swedish Deep Stabilization Research Centre
- [Johansson, 1994] Johansson S. E. (1994): *Cement. Kap. 2 i Betonghandbok - Material*, Svensk Byggtjänst och Cements AB, Stockholm
- [Junjie et al., 2016] Junjie Y., Nan Y., Qiang L. & Yuechen Z. (2016): *Laboratory Test on Long-Term Deterioration of Cement Soil in Seawater Environment*, Tianjin University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 22: 132-138, DOI 10.1007/s12209-016-2617-y

- [Kamon & Nontananandh, 1991] Kamon M. & Nontananandh S. (1991): *Combining industrial wastes with lime for soil stabilization*, Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), 1-17.
- [Khan & Umar, 2019] Khan I. & Umar R. (2019): *Environmental risk assessment of coal fly ash on soil and groundwater quality, Aligarh, India*, Groundwater for Sustainable Development Volume 8, f. 346-357
- [Kodra & Naçi, 2012] Kodra A. & Naçi P. (2012): *Harte Gjeologjike. Plansheti Durrresi (Shkalla 1:25.000)*, Ministria e Ekonomisë, Tregtisë dhe Energjitikës, Sherbimi Gjeologjik Shqiptar, Tirana.
- [Konomi, 2002] Konomi N. (2002): *Gjeologjia Inzhinierike - gjeologjia e veprave inzhinierike*. Shtëpia Botuese e Librit Universitar, ISBN 99927-0-168-4.
- [Leroueil et al., 1983] Leroueil S., Tavenas F., Le Bihan J.P. (1983): *Proprietes caracteristiques des argiles de l'est du Canada*. Canadian Geotechnical Journal 20 (4), 681-705.
- [Little, 1995] Little D. N. (1995): *Stabilization of pavement subgrades and base courses with lime*. Kendall/Haunting publishing company.
- [Little et al., 2000] Little D. N., Males E. H., Prusinski J. R. & Stewart B. (2000): *Cementitious stabilization, Transportation in the New Millennium: State of the Art and Future Directions*. Perspectives from Transportation Research Board Standing Committees.
- [Lorenzo et al., 2006] Lorenzo G. A., Bergado, D. T. (2006): *Fundamental Characteristics of Cement-Admixed Clay in Deep Mixing*, Journal of Materials in Civil Engineering, DOI: 10.1061/ (ASCE)0899-1561(2006)18:2(161).
- [Luga et al., 2017] Luga E., Paja A. & Atis C.D. (2017): *An investigation on the partial replacement of portland cement with Kosovo fly ash in cement mortars*, International Journal of Science and Technology, Volume 3.
- [Luisa et al., 2019] Luisa A., Deng L., Shao L. & Li H. (2019): *Triaxial behaviour and image analysis of Edmonton clay treated with cement and fly ash*, Construction and Building Materials, Volume 197, f. 208-219.
- [Lunedei & Malischewsky, 2015] Lunedei E. & Malischewsky P. (2015): *A review and some new issues on the theory of the H/V technique for ambient vibrations*, Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology (Ansal A., ed.), Springer, Berlin, 371-394.

- [Luzati, 2017] Luzati S. (2017): *Identifikimi i faktorëve që kontrollojnë përmbajtjen e hekurit në ujërat nëntokësore të akuiferit Rrogozhina*, f. 18.
- [Magnani, 1946] Magnani M. (1946): *Tettonica e sismicità nella regione Albanese*, Geofisica pura e applicata, 8, 1-42.
- [Makusa, 2012] Makusa G.P. (2012): *Soil stabilization methods and materials in engineering practice*, Lulea University of technology, Sweden.
- [Mallela et al., 2004] Mallela J., Quintus H. V., Smith K. (2004): *Consideration of lime-stabilized layers in mechanistic-empirical pavement design*, The National Lime Association. Arlington. 33 p.
- [Mancini et al., 2020] Mancini M., Skrame K., Simionato M., Muçi R., Gaudiosi I., Moscatelli M. & Daja Sh. (2020): *Site characterization in Durrës (Albania) from a seismic microzonation perspective*, Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata
- [McDowell, 1959] McDowell C. (1959): *Stabilization of soils with lime, lime/fly ash and other lime reactive materials*, Highway Research Board, Bulletin 231, Washington, DC, f. 60-66.
- [Meço & Aliaj, 2000] Meço S. & Aliaj S. (2000): *Geology of Albania*, Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, 28. Gebrüder Borntraeger, Berlin. ISBN 3-443-11028-2
- [Meyer, 2009] Meyer, C. (2009): *The greening of the concrete industry*, Cement and Concrete Composites, vol. 31, no. 8, pp. 601-5.
- [Meyers et al., 1976] Meyers J.F., Pichumani R., Kapples B.S., & US Department of Transportation (1976): *Fly ash as a Construction Material for Highways*, Report No. FHWA-IP-76-16, Washington, DC.
- [Mitchell, 1976] Mitchell, J. K. (1976): *The properties of Cement-stabilized soils*, Leura, Australia, Unisearch Ltd.
- [Mitchell & Freitag, 1959] Mitchell, J. K. & Freitag, D. R. (1959): *A Review and Evaluation of Soil-Cement Pavements*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers.
- [Moseley & Kirsch, 2004] Moseley, M. P. & Kirsch K. (2004): *Ground Improvement*, 2nd edition, Spon Press, ISBN 0-203-50254-X

- [Muçi et al., 2018] Muçi R., Fociro O., Skrame K. (2018): *The effect of lime as a stabilizing agent in plastic clayey soils in Vila Hill, Durrës, Albania*. Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii si comunicari. Stiintele Naturii. Tom. 34, No. 2/2018 ISSN 1454.
- [Muhunthan & Sariosseiri, 2008] Muhunthan, B & Sariosseiri, F. (2008): *Interpretation of geotechnical properties of cement treated soils*. Washington State Department of Transportation
- [Naçi et al., 2012] Naçi P., Kodra A. & Borova M. (2012): *Harte Gjeologjike. Plansheti Vrinasi (Shkalla 1:25.000)*. Ministria e Ekonomisë, Tregtisë dhe Energjitikës, Sherbimi Gjeologjik Shqiptar, Tirana.
- [Nagaraj et al., 2012] Nagaraj H. B., Sridharan A. & Mallikarjuna H. M. (2012): *Re-examination of Undrained Strength at Atterberg Limits Water Contents*, Springer Science+Business. Geotech Geol Eng DOI 10.1007/s10706-011-9489-7
- [Nagrokiene & Rutkauskas, 2019] Nagrockiene D. & Rutkauskas A. (2019): *The effect of fly ash additive on the resistance of concrete to alkali silica reaction*, Construction and Building Materials, Volume 201, f. 599-609
- [Nakamura, 1989] Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, QR RailwayTech. Res. Inst., 30, 25-33.9
- [Nath & Sarker, 2011] Nath P. & Sarker P. (2011): *Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete*, Procedia Engineering, Volume 14, f. 1149-1156
- [Ola, 1978] Ola S. A. (1978): *The geology and geotechnical properties of the black cotton soils of north - eastern, Nigeria*, Engineering geology. Elsevier. 12: 375-391.
- [PCA, 1992] Portland Cement Association (1992): *Soil-cement laboratory handbook*, Illinois.
- [PCA, 2008] Portland Cement Association (2008): *Guide to Cement-Modified Soil (CMS)*, Illinois.
- [Pumo et al., 1990] Pumo E., Krutaj J., Lamani F., Gruda GJ., Kabo M., Demiri M., Mecaj N., Pano N., Qirjazi P., Jaho S., Sala S., Aliaj SH., Spaho SH., Melo V. (1990): *Gjeografia fizike e Shqipërisë 1*, Akademia e Shkencave, Tiranë, f. 35-43.

- [Qafleshi et al., 2013] Qafleshi M., Kryeziu D.R., Misini M. & Aliko L. (2013): *Physical and Mechanical Properties of Fly Ash of Kosova B TPP for Utilization as Product for Partial Cement*, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol. 3, Issue. 6, Nov - Dec. 2013 pp-3323-3327 ISSN: 2249-6645.
- [Qafleshi et al., 2017] Qafleshi M., Kryeziu D.R., Misini M. & Aliko L. (2017): *Kosovo fly ash: Utilization in concrete as partial cement substituent and the environmental impact*, Jurnal Teknologi, Penerbit UTM Press.
- [Romman, 2017] Romman, D. (2017): *Studim mbi mundësinë e përdorimit të hireve futuruese si shtesë në industrinë e prodhimit të çimentos dhe betonit si dhe ndikimi i sulfatëve  $MgSO_4$  dhe  $Na_2SO_4$  në to (ataku sulfatik)*, Fakulteti i Shkencave të Natyrës, Universiteti i Tiranës.
- [Sánchez-Sesma, 2017] Sánchez-Sesma F.J. (2017): *Modeling and inversion of the microtremor H/V spectral ratio: physical basis behind the diffuse field approach*, Earth Planets Space, 6992. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0667-6>, 2017
- [Sarkar et al., 2012] Sarkar G., Islam R., Alamgir M. & Rokonzaman (2012): *Study on the Geotechnical Properties of Cement based Composite Fine-grained Soil*, International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering ISSN 2319-5347, Vol. 01, No. 02.
- [Sear et al., 2003] Sear L. K. A., Weatherley A. J. & Dawson A. (2003): *The environmental impacts of using fly ash - the UK producers' perspective*, International Ash Utilization Symposium, University of Kentucky.
- [Setiawan] Setiawan Y.: *Measuring Specific Surface Area of Soils and Soil Minerals by Water Vapor Adsorption*, Soil Chemistry Department of Environmental Science.
- [Shallo et al., 2002] Shallo M., Nazaj Sh., Vranaj A., Melo V., Xhafa Z., Nakuci V., Yzeiraj D., Lula F., Sadushi P., Xhomo A., Dimo Ll., Kodra A., Meco S., Bakalli F. (2002): *Gjeologjia e Shqipërisë, Teksti shpjegues i Hartës Gjeologjike (1:200000)*, - Grup autorësh, f. 222-223.
- [Sherwood, 1993] Sherwood P. (1993): *Soil stabilization with cement and lime*, State of the Art Review. London: Transport Research Laboratory, HMSO.
- [Sivakumar, 2012] Sivakumar Babu G. L. (2012): *Video course on Ground Improvement Techniques under National Programme on Technology Enhanced Learning (NPTEL)*. Indian Institute of Science, Bangalore.

- [Skempton & Northey, 1952] Skempton A. W. & Northey R. D. (1952): *The Sensitivity of Clays*, Geotechnique, Vol. 3, No. 1, , pp 30-53.
- [Skempton, 1953] Skempton A.W. (1953): *The colloidal "Activity" of clays*, proceedings of the 3 rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering. (1) 57-60.
- [Strozyk & Tankiewicz, 2013] Strozyk J. & Tankiewicz M. (2013): *Undrained shear strength of the heavily consolidated clay*, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Land Reclamation No 45 (2), 2013: 207-216, (Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. - SGGW, Land Reclam. 45 (2), 2013)
- [Tabatabai, 1997] Tabatabai, A. M. (1997): *Pavement [Roosazi Rah]*, University's publication center, Tehran, Iran.
- [Taylor, 1990] Taylor, H.F.W. (1990): *Cement chemistry*, Thomas Telford, London 1990.
- [Tanaka et al., 2012] Tanaka H., Hirabayashi H., Matsuoka T. & Kaneko H. (2012): *Use of fall cone test as measurement of shear strength for soft clay materials*, The Japanese Geotechnical Society. Soils and Foundations 2012;52(4):590-599
- [Tatarniuk, 2014] Tatarniuk C.M. (2014): *Deep Soil Mixing as a Slope Stabilization Technique in Northland Allochthon Residual Clay Soil*, TPhD. Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [Terzaghi, 1944] Terzaghi K. (1944): *Ends and means in soil mechanics*, Engineering Journal. (Canada). 27: pp 608-13
- [Thabet, 2019] Thabet M. (2019): *Site-Specific Relationships between Bedrock Depth and HVSR Fundamental Resonance Frequency Using KiK-NET Data from Japan, June 2019*, Pure and Applied Geophysics DOI: 10.1007/s00024-019-02256-7
- [Thompson, 1966] Thompson M. R. (1966): *Shear strength and elastic properties of lime-soil mixtures*, Highway Research Record, Washington, D.C., 139, 1-14.
- [Thomson, 1967] Thomson M. R. (1967): *Bulletin 492, Factors Influencing the Plasticity and Strength of Lime-Soil Mixtures*, Engineering Experiment Station, University of Illinois.



- [Übersichtskarte von Mittel-Europa, 1914] Übersichtskarte von Mittel-Europa (1914): *Elbasan, Argirokastron, Janina, Korfù, Philiates. Mafsstab 1:750.000*, Kaiserlich und Königlich Militärgeographisches Institut, Wien.
- [Vardanega & Haigh, 2014] Vardanega P.J. & Haigh S.K. (2014): *The undrained strength - liquidity index relationship*, Canadian Geotechnical Journal.
- [Wang & Liu, 2010] Wang P. & Liu, X. (2010): *Effect of temperature on the hydration process and strength development in blends of Portland cement and activated coal gangue or fly ash*.
- [White & Gnanendran, 2005] White W. G. & Gnanendran C. T. (2005): *The influence of compaction method and density on the strength and modulus of cementitiously stabilized pavement material*, The International Journal of Pavement Engineering.
- [Yong & Warkentin, 1975] Yong R.N. & Warkentin B.P. (1975): *Soil Properties and Behaviour*, Elsevier Scientific Publishing Co., New York.
- [Zhang & Cao, 2002] Zhang J. & Cao X. (2002): *Stabilization of expansive soil by lime and fly-ash*, Journal of Wuhan University of Technology. 17(4): f. 73-77.
- [Zhang et al., 2014] Zhang R. J., Lu Y. T., Tan T. S., Phoon K. K., F.ASCE & Santoso A. M. (2014): *Long-Term Effect of Curing Temperature on the Strength Behaviour of Cement-Stabilized Clay*, American Society of Civil Engineers, DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001144.
- [Zhao et al., 2015] Zhao H., Zhou K., Zhao C., Gong B.W. & Liu J. (2015): *A long-term investigation on microstructure of cement-stabilized handan clay*, European Journal of Environmental and Civil Engineering, DOI: 10.1080/19648189.2015.1030087
- [Wikipedia] Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pozzolan>