



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

CFB JA DESOX PÕLEVKIVITUHKADE SOBILIKKUS  
STABILISEERITUD ALUSTE E HITAMISEKS

THE SUITABILITY OF CFB AND DESOX OIL SHALE ASHES FOR HYDRAULICALLY  
BOUND MIXTURES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: RAINER VAIDLA

Üliõpilaskood: EAXM176720

Juhendaja: ANDRUS AAVIK

Tallinn 2019

## KOKKUVÕTE

Põlevkivi on Eesti suurim maavara, mille põletamisel kütusena toodetakse ligikaudu 85 % kogu tarbitavast Eesti elektrist. Põlevkivi põletamisel põleb ära orgaaniline osa ja järgi jääv mineraalne osa ehk tuhk ladestatakse tuhamägedesse, mille aastane kogus on ca 6 miljonit tonni. Põlevkivituhale on kasutust otsitud aastakümneid, kuid sellegipoolest suudetakse aasta jooksul tekkivast kogusest ära kasutada vaid umbes 5%.

Käesolevas uurimistöös prooviti leida lahendust kasutamaks CFB ja DeSOx põlevkivituhkasid teedehituses aluste stabiliseerimisel. Põlevkivituha kasutamine aluste stabiliseerimisel aitaks vähendada tuhamägedesse ladestatavat kogust ja kindlasti suurendada olemasolevate maavarade mõistlikku kasutust. Lõputöö eesmärgiks oli uurida ja laboratoorselt katsetada uue tüübi põlevkivituhkade sobilikkust stabiliseerimistöödeks, kuid mitte käsitleda stabiliseerimise kvaliteedinõudeid ega tehnoloogiat.

Antud magistritöös analüüsiti varasemaid uuringuid, prooviti leida seosed tuhmade toimimise kohta ja toodi välja põhilised järeldused. Lisaks valmistati uued tuh-, tsement- ja kompleksstabiliseeritud katsekehad, millele määrati survetugevus, lõhestus-tõmbetugevus ja külmakindlus. Proovikehade tihendamisel kasutati Modifitseeritud Proctorit ja staatilist koormamist. Uuringu käigus teostati katsed 121 proovikehaga, kus tsementstabiliseerimisel kasutati tsemendi sisaldusena 4% ja kompleksstabiliseeritud segudel 2,5%, proovikehade valmistamisel tuh- ja kompleksstabiliseeritud segudel tuha sisaldusena 6%.

Uuringu tulemustest selgub, et oluline erinevus CFB- ja DeSOx tuha vahel on vaba lubja sisaldus, mis on aktiivne väävli siduja. Vaba lubja sisaldus on kõrgem CFB tuhas, mille tulemusel paraneb sidumisvõimekus ja väävel seotakse täielikult tuhaga. DeSOx tuha tardumise käigu puhul täheldatakse hüdratsiooni reaktsioonide aeglustumist, mis tähendab kivinemise alguse- ja lõpu edasi lükkumist, kuna suitsugaaside mürgepuhastamise käigus tuha osakeste pind osaliselt hüdratiseerub ja veel puudub võimalus kokku puutuda materjali sees paiknevate kuiv osakestega. DeSOx tuhik sobib kasutamiseks kohtades, kus tardumisaeg pole nii määrav kui stabiliseerimistöödel.

Uute proovikehade tulemustest selgus, et 4% tsemendi sisaldusega katsekehadel saavutati nõutud survetugevus nii Modifitseeritud Proctor tihenduse kui staatilise koormamisega, mida võis arvata varasemate uuringute põhjal. Tuhkstabiliseerimisel saavutati CFB tuhaga nõutud 7- ja 28 päeva survetugevused, samas DeSOx tuhaga ei saavutata 7 päeva survetugevust, kuid täidetakse 28. päeva nõue, mis on tingitud aeglasest tardumisest.

Kompleksstabiliseeritud segudel 2,5% tsemendi sisaldusega katsekehadel tagatakse 7 päeva survetugevus, samas tagamata jääb 28 päeva nõue. Põlevkivituha sisaldusega proovikehad ei täitnud ühtegi tugevustingimust. Ühe põhjusena nähti materjali kuivust, mis ilmnes visuaalsel hindamisel pärast segamist. Kuivus on tingitud põlevkivituha suurenenud veevajadusest, mis on omane eriti CFB tuhal. Sarnaselt survetugevustele ei saavutata ühegi sideainega lõhestus-tõmbetugevust. Lõhestus-tõmbetugevuse saavutamiseks eriti 28. päeva nõudega esineb probleeme enamikel teedehituse objektidel Eestis.

Proovikehadele määrati külmakindluse katse, vastavalt standardile CEN/TS 13286-54. Tulemustest nähakse konstantset survetugevuse kasvu mõlema tihendusmeetodiga. Erinevalt enamusest proovikehadest langeb märkimisväärselt DeSOx tuha staatiliselt tihendatud kehade survetugevus pärast 28.päeva.

Lisaks võrreldi antud uurimustöös tihendamiskiiside keskmiste mahumasside erinevusi. Tulemustest nähtub, et Modifitseeritud Proctor tihendusega saavutatakse tuhk- ja tsementstabiliseerimisel oluliselt paremad tulemused. Samas kompleksstabiliseeritud proovikehade mahumassidega saavutati küllaltki võrdsed tulemused, mis on tõenäoliselt tingitud bituumensideainest, mis hõlbustab tihenemist.

Käesoleva uurimistöö tulemustest selgub, et CFB tuhk sobitub kasutamiseks tuhkstabiliseeritud kihi ehitamiseks. Arvestades CFB tuha tundlikkust niiskumis-kuivamise tsüklitele, tuleks teostada täiendavaid mõõtmisi, sh survetugevuse jälgimine 105 päeva ja enam proovikehadele. DeSOx tuhk ei sobitu kasutamiseks antud katseandmete põhjal aluste stabiliseerimiseks, kuid vajab täiendavat uurimist. DeSOx tuhk sobituks kohtadesse, kus kivinemiseks antakse rohkem aega kui 7- ja 28 päeva.

Antud magistritöö ajaline raamistik ei võimaldanud katsetada ega jälgida rohkem proovikehasid, kuid annab lähtepunkti täiendavatele uuringutele.

## SUMMARY

Estonia's largest mineral resource is oil shale and it is combusted as a fuel to generate approximately 85% of all electricity used in Estonia. When oil shale is combusted, the organic part is burnt up and the remaining mineral part, or ash, is deposited in open spoil dumps. The annual volume of produced ash is about 6 million tons. Decades have been spent on finding uses for oil shale, but even today, only about 5% of the amount produced each year can be utilised.

This thesis is aimed to provide a solution for using CFB and DeSOx oil shale to strengthen the road base by stabilization in road construction. The use of oil shale ash for stabilising different road section courses and embankments would help to reduce the amount of material deposited in open spoil dumps and certainly increase the reasonable use of existing mineral resources. The aim of the thesis was to investigate and run lab tests to test the suitability of the new types of oil shale ash for stabilization works, but not to address the quality requirements or technology of stabilization.

This master's thesis analysed previous studies, tried to find connections between the functioning of different types of ash, and summarised the main conclusions. In addition, new ash, cement and complex stabilised test-pieces were prepared for which compressive strength, break-tensile strength and freezing resistance were determined. Modified Proctor and static loading were used to compact the test-pieces. In the course of the study, tests were performed on 121 test-pieces. Cement content of 4% was used for cement stabilisation, 2.5% for complex stabilised mixtures, and in mixes of ash and complex stabilised mixtures, ash content was 6%.

The results of the study show that the significant difference between CFB and DeSOx ash is the free lime content, which is an active sulphur binder. Free lime content is higher in CFB ash, resulting in improved bonding capacity and total sulphur binding. In the course of the DeSOx ash setting, a slowdown of hydration reactions is observed, which means delaying the onset and end of hardening, because the surface of the ash particles partially hydrates during wet scrubbing of the smoke and there is no possibility for water to get in contact with dry particles within the material. DeSOx ash is suitable for use in places where the setting time is not as decisive as in stabilisation work.

The results of the new test-pieces showed that the test-pieces with 4% cement content achieved the required compression strength both with Modified Proctor compaction and static loading which had been expected from previous studies. With ash stabilisation, the CFB ash achieved the required 7- and 28-day compression strengths, while DeSOx ash did not achieve 7-day compression strength but did reach the 28-day requirement due to slow setting time.

For complex stabilised mixtures, the test-pieces with a 2.5% cement content achieved the required 7-day compressive strength, while the 28-day requirement was not met. Samples with oil shale ash content did not meet any strength conditions. One of the reasons was the dryness of the material, which was evident from visual evaluation after mixing. The dryness is caused by the increased water need of oil shale ash, which is the main characteristic of CFB ash. Like the compressive strengths, break-tensile strengths were not achieved with any binder. There are problems with achieving the break-tensile strength on most road construction objects in Estonia, especially when it comes to the 28-day requirement.

The test specimens were subjected to a freezing resistance test in accordance with CEN/TS 13286-54. The results show a constant increase in compression strength by both compression methods. Unlike most pieces, the pieces of DeSOx ash that have been statically compressed exhibit a reduction in compression strength after 28 days.

In addition, the differences in the bulk density of compaction methods were compared in this study. The results show that Modified Proctor compaction results in significantly better results in ash and cement stabilisation. At the same time, the bulk density of complex stabilised pieces achieved fairly even results, probably due to the bituminous binder that facilitates compaction.

The results of this study show that CFB ash is suitable for use in the construction of an ash-stabilised layer. Considering the sensitivity of CFB ash to soaking-drying cycles, further measurements should be carried out, including monitoring of compression strength of test pieces at 105 days and later. DeSOx ash is not suitable for the stabilisation of bases on the basis of the given test data but needs further investigation. DeSOx ash would fit in places where more than 7 and 28 days is provided for hardening.

The timeframe of this master's thesis did not allow to test or monitor more test-pieces but provides a starting point for further research.