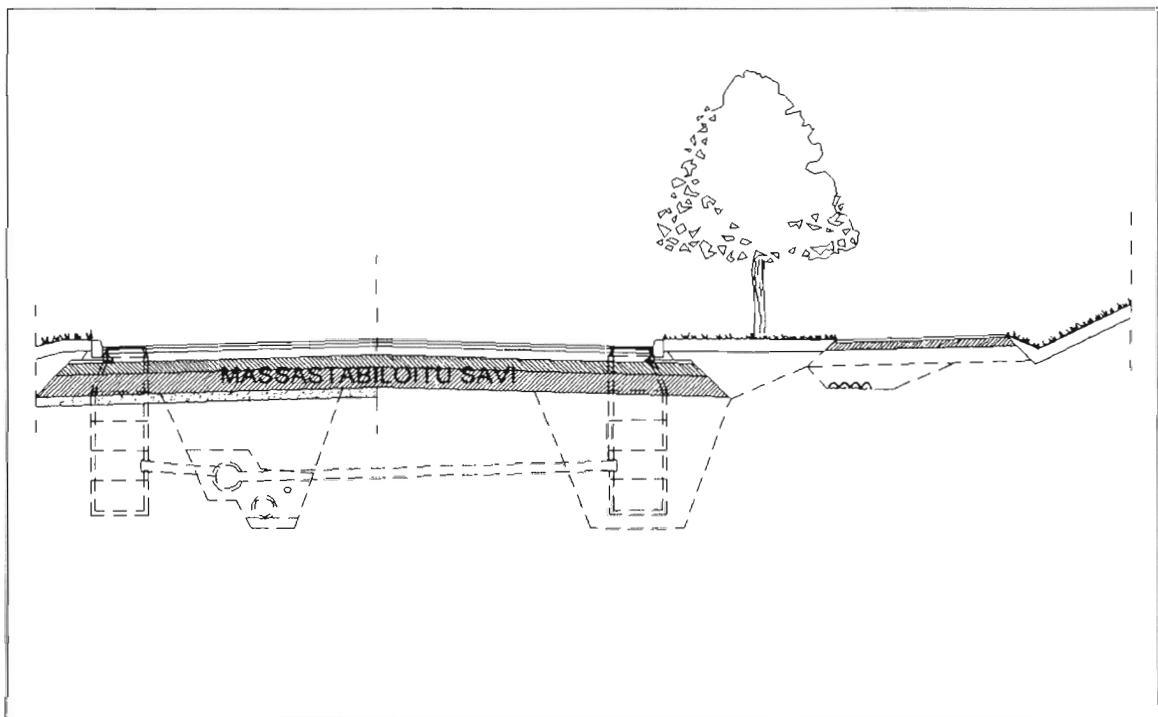


MASSASTABILOITUJEN YLIJÄÄMÄSAVIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA

Suunnitteluohjeet, työselitykset
ja laatuvaatimukset

Harri Mäkelä
Harri Höynälä
Hannu Halkola
Ari Kettunen



Julkaisu 82/2000

MASSASTABILOITUJEN YLIJÄÄMÄSAVIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA

**Suunnitteluohjeet, työselitykset
ja laatuvaatimukset**

**Harri Mäkelä
Harri Höynälä
Hannu Halkola
Ari Kettunen**

TIIVISTELMÄ

Suunnitteluohjeet sekä työselitykset ja laatuvaatimukset perustuvat kehitysprojektin ”Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa” tuloksiin sekä sitä edeltäneisiin tutkimuksiin ”Ylijäämäsaveen massastabilointi” ja ” Saveen ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla”. Em. tutkimukset on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekniikan osastolla yhteistyössä Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston kanssa. Selvitysten ja tutkimusten tarkoituksena on ollut kehittää ylijäämäsaveen hyötykäyttöä maarakenteissa massastabiloimalla savea.

Viikin koerakentamisprojektissa selvitettiin massastabiloidun saveen soveltuvuutta katurakenteen tukikerrokseen Viikin ekorakennusalueella Tilanhoitajankaarella. Ennen kohteen rakentamista Viikin savea tutkittiin Lohja Rudus Oy:n laboratoriossa sekä Oulun Yliopiston geotekniikan laboratoriossa. Laajoissa ennakkokokeissa selvitettiin sopivat sideaineet ja sideainemäärät sekä tutkittiin näillä aineilla stabiloitujen ja lujittuneiden koekappaleiden kestävyys.

Suunnitteluohjeissa käsitellään massastabiloitujen savien käyttökohteita ja rakenteita, yleisiä suunnitteluperusteita ja -kriteereitä sekä tyyppiratkaisuja. Yleinen työselitys ja laatuvaatimukset –liite on laadittu noudattaen KT-97 ulkoasua ja jäsentelyä. Tässä osassa käsitellään massastabiloitujen rakenteiden rakenneratkaisuja sekä niiden laatu-, materiaali-, mitta- ja rakennevaatimukset sekä laadun toteaminen. Työselityksessä annetaan lisäksi työohjeita sekä käsitellään työsuojelua koskevia asioita.

Massastabilointimenetelmän alkuvaiheessa tulee aina tehdä ennakkokokeet, joilla selvitetään käytettävä(t) sideaine(et) ja niiden määrät. Sideaine- ja lujittumistutkimusten perustana ovat koekappaleiden lujuustavoitteet, jotka voivat vaihdella käyttökohteesta ja rakenneosasta riippuen paljonkin. Menetelmän käytön alkuvaiheessa on kiinnitettävä huomiota riittävän jäätymis-sulamis-kestävyyden saavuttamiseen, koska yksi kriittisistä tekijöistä on stabiloidun rakenteen pitkäaikaistoimivuus riittävällä jäätymiskestävyydellä. Stabiloitu savirakenne sisältää huomattavan paljon vettä, joka jäätyessään laajenee ja saattaa rikkoa sisäistä rakennetta. Monissa vaatimattomimmissa käyttökohteissa sidotun kerroksen halkeilu on kuitenkin sallittua.

Sidottujen rakenteiden mitoitus perustuu materiaalin leikkaus- ja puristuslujuuksien käyttöön. Mitoitusperiaatteet ovat vastaavat kuin maa- ja katurakenteiden yleiset mitoitusperiaatteet. Sideaineiden käytössä on lisäksi aina tarkistettava käytettävien aineiden ympäristökelpoisuus kyseisellä alueella ja rakenteessa.

Sidotun heikosti vettä läpäisevän kerroksen tekeminen sitomattoman kantavan kerroksen alle poikkeaa perinteisestä kadun rakennekerrosten tekemisestä karkearakeisilla maa-aineksilla. Savikadun tutkimusten perusteella kantavaan kerrokseen kertyy ja pidättyy ilmeisesti vettä, joka talvella toistuvasti jäätyessään ja sulaessaan löyhdyttää sitomatonta kantavaa kerrosta. Ilmiöstä ei ole kahden seurantavuoden kuluessa tullut esille rakenteellisia ongelmia ja mitatut kantavuudet ovat olleet yli vaadittujen arvojen.

SAMMANDRAG

Planeringsinstruktionerna samt de offentliga arbetsbeskrivningarna och kvalitetsfordringarna baserar sig på resultaten i projektet "Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa". Dessutom har också resultaten från tidigare projekten "Yli-jäämäsavien massastabilointi" och "Saven ominaisuuksien paranta-minen massastabiloinilla" tagits till hänsyn. Förut nämnda utredningar har gjorts av Helsingfors geotekniska avdelning i samarbete med Helsingfors stads byggnadskontor. Utredningarnas avsikt har varit, att utveckla överskottleras utnyttjande i jordbyggnad genom massastabilisering av lera.

Testkonstruktionen i Viikki reddes den massastabiliserade lerans lämplighet till gatkonstruktionens stödlager. Före byggandet forskade Lohja Rudus Oy och Uleåborgs universitets geotekniska laboratorium leran från Viikki. I bred förhandsförsök definierades lämpliga bindemedel och bindemedelmängder och också forskades de stabiliserade och hårdnade provstyckens hållfasthet.

I planeringsinstruktionerna behandlas massastabiliserad leras användningsföremål och strukturer, allmänna planeringsgrunder och –kriterium samt typstrukturer. De offentliga arbetsbeskrivningarna och kvalitetsfordringarna har skrivits enligt KT-97 – publikations utseende. I denna del behandlas massastabiliserande konstruktioners strukturlösningar och deras kvalitets-, material-, dimensions- och strukturkraven och också kvalitetskontroll. I arbetsbeskrivningarna avges också arbetsanvisning och behandlas frågor som påverkar arbetsskydd.

I massastabiliseringsmetodens första skede är det mycket viktigt, att förhandstester alltid görs före själva byggandet. I förhandstester avgörs bindemedel och bindemedelmängd. Bindemedels- och hårdningsundersökningen grundar sig på är provstyckens fasthetsmål, som kan variera mycket beroende på användningsföremål och strukturellt element. I metodens användnings begynnelse måste läggas märke till, att betryggande frysning-smältningshållfasthet kan upphinnas. Detta är ett om de mest kritiskt faktor, därför att långtidfunktion måste försäkras med betryggande frysningshållfasthet. I massastabiliserade lerstrukturen innehåller betydligt mycket vatten, som fryser och samtidigt expanderas och kan bryta innestrukturen. I många enklare användningsföremål kan krackning i massastabiliserat lagret tillåtas.

Den massastabiliserade strukturens dimensionering grundar sig på användning av skjuvstyrka och tryckhållfasthet. Dimensioneringsprinciper är desamma som i jord- och vägbygg i allmänhet. När bindemedel användes, måste deras miljöförmåga alltid avsynas enligt arean och strukturen i frågan.

När en massastabiliserad strukturlager med lågt vattenpermeabilitet byggs under en strukturlager med högt vattenpermeabilitet i vägkonstruktion, är det annorlunda än, om vägen byggs med traditionella jordmaterial. Enligt lergatans forskningsresultat är det tydligt, att vatten samlar och dröjer sig inom bärlagslagret. Om vintern fryser och smälter vattnet en gång efter annan och samtidigt lossar sig den obundna strukturen. Inom två års period har fenomenet inte farligt påverkat strukturen och bärförmåga mätningar har överstigit det krävda.

ABSTRACT

The design instructions and also the general work specifications and qualification requirements are based on the results of the project "Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakentamisessa". Additionally, the results from the former projects "Ylijäämäsaven massastabilointi" and "Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla" have also been taken into consideration. The Geotechnical Division of the City of Helsinki in co-operation with the Public Works Department of the City of Helsinki performed all the investigations. The aim of these investigations was to develop the utilization of surplus clay masses by mass-stabilization.

The suitability of mass-stabilized clay for the support layer of a road was explored by the test structures at the eco-construction area in Viikki in Helsinki. Before construction work the clay was investigated at the laboratory of Lohja Envirotec and also at the geotechnical laboratory of the University of Oulu. In these wide pre-tests the proper binders and the amounts of binder and also the strengths of the stabilized test samples strengthened by these binders were examined.

The earth structures, the general design criteria and the type solutions are dealt with the design instructions. The general work specifications and quality requirements are written by following the layout of KT-97 –publication. This part handles the solutions and quality control of the mass-stabilized structure and also its quality, material, dimension and structure requirements. Additionally, the work specifications provide work instructions and deal with work safety factors.

The mass-stabilization method requires always pre-tests at the laboratory at the beginning of a project. The proper binders and the suitable amounts of binder are estimated according to the results obtained from the pre-tests. The strength requirements of mass-stabilized test samples are the basis of pre-tests and the requirements may vary remarkable depending on the type and usage of the earth structure. One of the most critical factors considering the long-term strength of the mass-stabilized structure is its freezing-thawing strength. The stabilized clay structure consists of a notable amount of water, which may break the inner structure while freezing and expanding.

The shear and compression strength are the basis of mass-stabilized structure dimensioning. The dimensioning principles are the same as for earth and road construction in general. The environmental qualification of the utilized binder must always be verified before its usage.

The mass-stabilized clay layer with a low water-permeability built under the base course with a high water-permeability differs from the basic road construction. According to the investigations of Viikki's clay road, it seems that water gathers and restrains into the base course and can not properly penetrate through the mass-stabilized layer. Water freezes and thaws every winter and during the thawing period water loosens the unbound base course. Thus, during two-year monitoring period the phenomenon has not caused any structural problems and measured bearing capacities have been over the required values.

ALKUSANAT

Massastabiloitujen savien hyötykäyttö katurakenteissa projekti on osa Ympäristögeotekniikan tutkimusohjelmaa, jota Tekes rahoittaa merkittävällä panoksella.

Ylijäämäsavien massastabilointia koskeva tutkimustyö käynnistettiin Suomessa Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla HKR:n katuosaston aloitteesta ja rahoituksella 1990-luvun alkupuolella. Tutkimustyön tulokset olivat lupaavia ja seuraava merkittävä kehitystyön panostus on tämä Viikin alueen ylijäämäsavien massastabilointi ja koerakentaminen. Helsingin kaupungin roolina on ollut selvittää ylijäämäsavien käyttöedellytykset, suunnittelu- ja mitoitusperusteet, rakenteiden kestävyys sekä rakentamistekniikka. Massastabiloinnin kone- ja laitekehitystyötä ovat tehneet yritykset, saman Ympäristögeotekniikka-ohjelman osarahoituksella.

Viikin alueen ylijäämäsavien massastabiloinnin kehitystyön johtoryhmänä on toiminut Usko Anttikoski (puheenjohtaja), Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekniseltä osastolta, Heikki Rinne Helsingin kaupunginkansliasta, Lauri Kivekäs Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy:stä, Osmo Koskisto, Tekesistä sekä Jouko Lehtonen (7/97 asti) ja Hannu Halkola (8/97 lähtien), Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekniseltä osastolta.

Projektin käytännön työtä sekä raportin laadintaa ja toimitustyötä on ohjannut projektiryhmä, jossa ovat mukana HKR:n Katuosastolta Ari Kettunen ja Jouko Lehtonen, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy:stä Martti Keppo ja Elina Parkkinen (vuoteen 1997 asti) sekä Hannu Halkola (puheenjohtaja).

Koerakenteiden tekemisen toteutti HKR-Ympäristötuotanto, jossa työstä vastasivat Raimo Kuokkanen rakennuttajainsinöörinä, Veijo Hämäläinen työpäällikkönä ja Juha Loukusa työmaan vastaavana mestarina. Stabiloidun materiaalin routakestävyyslaboratoriotutkimukset tehtiin Oulun Yliopiston geotekniikan laboratoriossa tekn. tohtori Kauko Kujalan johdolla.

Viikin savikadun alustavat suunnitelmat teki Viatek-yhtiöt Oy ja koerakentamisen varsinaiset rakennus- ja tutkimussuunnitelmat Innogeo Oy:stä Antti Junnila ja Harri Mäkelä. Mäkelä on vastannut myös koerakentamisen asiantuntijatehtävistä ja neuvonnasta sekä pääosin tämän tiedotteen laadinnasta yhdessä Harri Höynälän kanssa.

Helsingissä marraskuussa 2000



Ilkka Vähäaho
osastopäällikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	5
SAMMANDRAG	6
ABSTRACT	7
ALKUSANAT	8
0. JOHDANTO	14
1. MASSASTABILOINNIN PERIAATTEET	15
2. SUUNNITELTAVAT KOHTEET.....	16
2.1 YLEISTÄ	16
2.2 POHJASUHTEET JA POHJAVEDENPINTA.....	16
2.3 MASSASTAB. JA SYVÄ(PILARI)STABILOINNIN YHDISTÄMINEN	17
2.4 KADUT	18
2.4.1 Alusrakenteen parantaminen	18
2.4.2 Kadun päällysrakennekerrokset	19
2.5 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET	19
2.6 JOHTOLINJAT	20
2.7 MELUVALLIT	20
2.8 MUUT MAARAKENTEET	20
2.8.1 Piha- ja maisemointitäytöt	20
2.8.2 Rakennusten vierus- ja alustäytöt	21
3. SUUNNITTELUPERUSTEET JA -KRITERIT	21
3.1 SUUNNITTELUKRITERIT	21
3.2 KADUT	23
3.2.1 Katuluokitus ja suunnitteluperusteet.....	23
3.2.2 Kadun kuormituskestävyys.....	23
3.2.3 Kadun routakestävyys.....	24
3.2.4 Kadun sallittu painuma.....	25
3.2.5 Katurakentamisen maarakennustekniset ominaisuudet	26
3.2.6 Kadun käyttöikä.....	26
3.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET	26
3.4 JOHTOLINJAT	27
3.5 MELUVALLIT	28
3.6 MUUT MAARAKENTEET	28
3.6.1 Piha- ja maisemointitäytöt	28
3.6.2 Rakennusten vierus- ja alustäytöt	28

4. LÄHTÖTIEDOT	29
4.1 YLEISTÄ.....	29
4.2 KATURAKENTEET	31
4.2.1 Katujen kuormat	31
4.2.2 Ilmastotekijät.....	31
4.2.3 Alusrakenteen ominaisuudet	32
4.2.4 Stabiloitavan saven ominaisuudet	32
4.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET	32
4.4 JOHTOLINJAT	32
4.4.1 Kuormat.....	32
4.4.2 Ilmastotekijät.....	33
4.4.3 Alusrakenteen ominaisuudet	33
4.4.4 Stabiloitavan saven ominaisuudet	33
4.5 MELUVALLIT.....	33
4.6 MUUT MAARAKENTEET	33
5. TYYPPIRAKENTEET	34
5.1 MASSASTABILOITUJEN RAKENTEIDEN SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	34
5.2 KATURAKENTEET	35
5.2.1 Alusrakenteen parantaminen.....	35
5.2.2 Kadun päällysrakennekerrokset	36
5.2.3 Raitit	38
5.2.4 Katupenkereet.....	39
5.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET	40
5.4 JOHTOLINJAT	41
5.5 MELUVALLIT.....	42
5.6 MUUT MAARAKENTEET	44
6. STABILOITAVAN SAVEN MATERIAALITUTKIMUKSET.....	44
6.1 STABILOITAVA SAVI JA SEN STABILOITUVUUS.....	44
6.2 KÄYTETYT SIDEAINEET JA SIDEAINEYHDISTELMÄT	45
6.2.1 Sementti	45
6.2.2 Poltettu kalkki	45
6.2.3 Nordkalk Terra.....	46
6.2.4 Lentotuhka.....	46
6.2.5 Rikinkoiston lopputuote	46
6.2.6 Masuunikuona	47
6.2.7 Kipsi.....	47
6.2.8 Sideaineyhdistelmät	48
6.3 ERI SIDEAINEILLA SAAVUTETTAVAT PURISTUSLUJUUDET	48
6.4 SIDEAINEIDEN ALUSTAVA VALINTA.....	49
6.5 MAASTOTUTKIMUKSET	50
6.6 LABORATORIOTUTKIMUKSET	51
6.6.1 Tutkimusten tarkoitus	51
6.6.2 Humuspitoisuus	51

6.6.3	Rikkipitoisuus	51
6.6.4	Vesipitoisuus	51
6.6.5	Lämpötila	52
6.6.6	Stabiloitujen koekappaleiden tutkimukset	52
6.7	KOESTABILOINTI MAASTOSSA JA TUTKIMUKSET	53
7.	RAKENTEIDEN MITOITUS	53
7.1	YLEISTÄ	53
7.2	KATURAKENTEET	53
7.2.1	Painumamitoitus.....	53
7.2.2	Routakestävyysmitoitus	54
7.2.3	Kuormituskestävyysmitoitus	54
7.2.4	Katupenkereen luiskien vakavuus.....	56
7.3	PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET	57
7.4	JOHTOLINJAT	57
7.5	MELUVALLIT	57
7.6	MUUT RAKENTEET	59
7.6.1	Piha- ja maisemointitäytöt	59
7.6.2	Rakennusten vierus- ja alustäytöt	59
8.	YMPÄRISTÖOMINAISUUDET JA KUNNOSSAPITO	60
8.1	YMPÄRISTÖKELPOISUUS	60
8.2	YMPÄRISTÖKELPOISUUSTESTIT	61
8.2.1	Standarditestit	61
8.2.2	Typpihappo- ja vesiuuttotesti.....	61
8.2.3	Hollantilainen diffuusio- (liukoisuus)testi	61
8.2.4	Vesinäytteet	61
8.3	YMPÄRISTÖTURVALLISUUS	62
8.4	KUNNOSSAPITOTOIMENPITEET	62
9.	YLIJÄÄMÄSAVIEN MASSASTABILOINNIN KUSTANNUKSET	62
9.1	KUSTANNUKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	62
9.2	SIDEAINEKUSTANNUKSET	63
9.3	RAKENNUSKUSTANNUKSET	63
9.3.1	Katurakenteet.....	63
9.3.2	Pysäköinti- ja piha-alueet	64
9.3.3	Johtolinjat	64
9.3.4	Meluvallit ja piha- ja maisemointitäytöt.....	64
9.3.5	Rakennusten vierus- ja alustäytöt	65
10.	LAADUNVALVONTA	65
10.1	MASSASTABILOINNIN LAADUNVALVONTAAN SOVELTUVAT MENETELMÄT	65
10.2	STABILOINTIKAIRAUKSET	66

10.2.1	Eri kairausmenetelmät ja niiden valinta	66
10.2.2	Puristinheijarikairaus.....	66
10.2.3	CPTU-kairaus	67
10.2.4	Pilarisiipikairaus	67
10.2.5	Pilarikairaus	67
10.3	KANTAVUUSMITTAUKSET	67
10.3.1	Levykuormituskoe.....	67
10.3.2	Pudotuspainolaite	68
10.3.3	Ruuvilevykoe	68
10.4	PAINUMA- JA SIIRTYMÄMITTAUKSET	69
10.5	MUUT IN SITU -MITTAUKSET	69
10.6	NÄYTTEENOTTO.....	69
10.7	LABORATORIOTUTKIMUKSET	70
11.	KIRJALLISUUSLUETTELO.....	71

LIITTEEN SISÄLLYSLUETTELO

YLEINEN TYÖSELITYS JA LAATUVAATIMUKSET

0000	YLIJÄÄMÄSAVIEN MASSASTABILOINTI.....	74
2000	LIIKENNEVÄYLÄTYÖT	82
2300	KUIVATUS- JA RUMPUTYÖT	82
2400	POHJANVAHVISTUS	85
2450	Muut pohjanvahvistustoimenpiteet.....	85
2457	Alusrakenteen parantaminen.....	85
2500	PENGERRYYS	88
2540	Erikoispenkereiden teko	88
2546	Meluvalli uusiomateriaaleista	88
2600	PÄÄLLYSRAKENNETYÖT	90
2610	Tukikerros	90
2611	Eristys/suodatinkerros	90
2612	Jakava kerros	92
2620	Kantava kerros.....	94
2624	Pyöriteiden, jalkakäytävien ja raittien kantava kerros	94
3000	VESIHUOLLON MAATYÖT	97
3400	JOHTOLINJAN PERUSTAMINEN	97
3470	Erikoismenetelmät	97
3473	Arina muista uusiomateriaaleista	97
3500	TÄYTTÖ- JA PENGERRYSTYÖT	99
3550	Lopputäyttö	99
6000	VIHERTYÖT	103
6500	TÄYTTÖ JA PENGERRYYS	103

0. JOHDANTO

Ohjeet perustuvat kehitysprojektin ”Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa” tuloksiin ja sitä edeltäneisiin tutkimuksiin ”Ylijäämäsaveen massastabilointi” ja ”Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla”, jotka on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekniikan osastolla yhteistyössä Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston kanssa. Selvitysten ja tutkimusten tarkoituksena on ollut kehittää ylijäämäsaveen hyötykäyttöä maarakenteissa massastabiloimalla savea.

Viikin koerakentamisprojektin tarkoituksena on ollut selvittää massastabiloidun saveen soveltuvuutta katurakenteen tukikerrokseen Viikin ekorakennusalueella Tilanhoitajankaarella. Ennen kohteen rakentamista tehtiin Viikin savelle Lohja Rudus Oy:n sekä Oulun Yliopiston rakentamistekniikan osaston geotekniikan laboratoriossa laajat ennakkokokeet sopivien sideaineiden ja sideainemäärien löytämiseksi sekä näillä stabiloitujen ja lujittuneiden koekappaleiden kestävyys selvittämiseksi.

Näissä suunnitteluohjeissa käsitellään massastabiloitujen savien käyttökohteita ja rakenteita, yleisiä suunnitteluperusteita ja -kriteereitä sekä tyyppiratkaisuja. Massastabiloinnin käyttöön tulee menetelmän alkuvaiheessa liittyä aina ennalta tehtävät materiaalikokeet, joilla selvitetään käytettävä(t) sideaine(et) ja niiden määrät. Sideaine- ja lujittumistutkimusten perustana on koekappaleiden lujuustavoitteet, jotka voivat vaihdella käyttökohteesta ja rakenneosasta riippuen paljonkin.

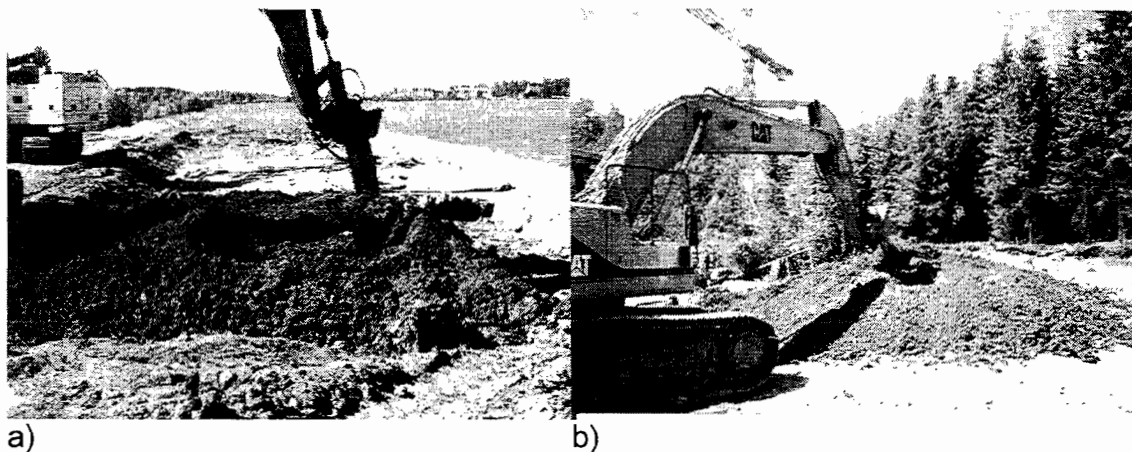
Menetelmän käytön alkuvaiheessa on kiinnitettävä huomiota riittävän jäätymissulamiskestävyys saavuttamiseen, koska stabiloidun rakenteen yksi kriittisistä tekijöistä on varmistaa rakenteen pitkäaikaistoimivuus riittävällä jäätymiskestävyydellä. Stabiloitu savirakenne sisältää huomattavan paljon vettä, joka jäätyessään laajenee ja voi rikkoa sisäistä rakennetta. Monissa vaatimattomimmissa käyttökohteissa sidotun kerroksen halkeilu on kuitenkin sallittua.

Sidotujen rakenteiden mitoitus perustuu materiaalin leikkaus- ja puristuslujuuksien käyttöön. Mitoitusperiaatteet ovat vastaavat kuin maa- ja katurakenteiden yleiset mitoitusperiaatteet. Sideaineiden käytössä on lisäksi aina tarkistettava käytettävien aineiden ympäristökelpoisuus kyseisellä alueella ja rakenteessa. Perusteita massastabiloitujen savien käyttöön ympäristöominaisuuksiltaan vaativilla pohjavesialueilla ei liene, koska massastabiloidun saveen soveliaimmat käyttökohteet ovat savikkoalueella, josta ylijäämäsavea syntyy.

Sidotun heikosti vettä läpäisevän kerroksen tekeminen sitomattoman kantavan kerroksen alle poikkeaa perinteisestä kadun rakennekerrosten tekemisestä karkearakeisilla maa-aineksilla. Savikadun tutkimusten perusteella kantavaan kerrokseen kertyy ilmeisesti vettä, joka talvella toistuvasti jäätyessään ja sulaessaan löyhdyttää sitomattomaa kantavaa kerrosta. Ilmiöstä ei ole kahden seurantavuoden kuluessa tullut esille rakenteellisia ongelmia, mutta havainnointia kadun pinnan laadusta tulee jatkaa ilmiön aiheuttamien mahdollisten haittojen selvittämiseksi.

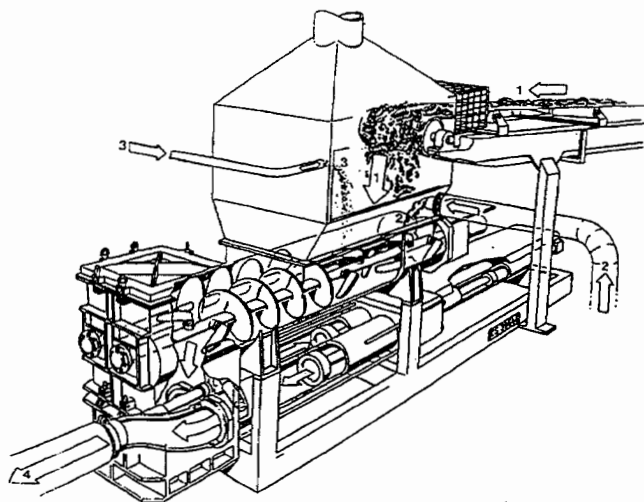
1. MASSASTABILOINNIN PERIAATTEET

Massastabiloinnilla tarkoitetaan kaivumassojen, tässä ohjeessa saven, geoteknisten ominaisuuksien parantamista sekoittamalla saveen tarkoitukseen sopivaa side- tai muuta lisäainetta. Massastabiloinnissa sideaine voidaan sekoittaa stabiloitavaan saveen in situ, läjitettyyn saveen tai asemasekoituksena. In situ -menetelmässä sideaine sekoitetaan maaperässä olevaan luonnontilaiseen saveen, joka sekoituksen jälkeen kaivetaan ylös ja siirretään joko kohteeseen tai välivarastoon (Kuva 1a). Kasaan sekoituksessa savi kaivetaan ensin ylös ja läjitetään välivarastoon tai aumaan, minkä jälkeen sideaine sekoitetaan läjitettyyn massaun (Kuva 1b).



Kuva 1a. Sideaineen sekoitus in situ, b) sekoitus läjitettyyn saveen.

Asemasekoituksessa (Kuva 2) savi syötetään sekoittimeen hihnakuljettimella, ja sideaine(et) putkia pitkin. Syöttösiilo on suljettu, joten sideaineiden pölyäminen voidaan estää. Sekoittuminen tapahtuu aluksi murskaimessa ja jatkuu sitten ruuvikuljettimessa. Sekoitettu massa pumpataan joko kuorma-autoon tai välivarastoon.



Kuva 2. Asemasekoituksessa käytetty massastabilointilaitteisto (Karlstedt P. & Halkola H.).

Hyvien maa-ainesten väheneminen ja ajomatkojen piteneminen sekä toisaalta yhä epäedullisempien tonttien käyttöönoton seurauksena on pyritty hyödyntämään rakentamiseen kelpaamattomia maa-aineksia. Toisaalta esimerkiksi Helsingin alueella ylijäämämaan vastaanottopaikat ovat täyttymässä. Saven stabilointi toimii maaparannusvaihtoehtona ja päätarkoituksena on käyttää stabiloitua massaa paikallisesti tai ainakin lyhyen ajomatkan päässä. Stabiloinnilla saavutetaan useita etuja, kun sitä käytetään paikallisesti:

- ylijäämäsavea ajo vähenee, kun stabiloitua savea voidaan käyttää täyttöihin kaivupaikan lähellä,
- luonnonkiviainesten käyttö- ja kuljetustarve vähenee siltä osin kun kiviainekset ovat korvattavissa stabiloidulla savella ja
- läjitysalueiden tarve vähenee

Massastabiloinnin lähtökohtana on saven geoteknisten ominaisuuksien parantaminen siten, että se saadaan mahdollisimman pienin kustannuksin helposti läjitettävään tai työstettävään muotoon. Läjitettäessä massastabiloidun saven on oltava myöhemminkin kaivukelpoista.

2. SUUNNITELTAVAT KOHTEET

2.1 YLEISTÄ

Luonnontilaisen saven ominaisuuksista ja sideainevalinnasta riippuen saven lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia saadaan muutettua siten, että saven käyttömahdollisuudet maarakenteissa lisääntyvät. Stabiloitun saven lujuus ja kantavuus kasvavat sekä routakestävyys paranee. Tämän vuoksi stabiloitua massaa voidaan käyttää kitkamaalajien sijaan maarakenteissa, kuten katurakenteissa, pysäköinti- ja pihalueilla, johtolinjoissa, meluvallissa yms. maarakenteissa. Stabiloitun saven määrittäviä ominaisuuksia ovat routivuuden lisäksi kantavuus ja kokoonpuristuminen. Sideaineyhdistelmän ja -määrän valintaan vaikuttaa myös vaadittu lujuustaso ja sen saavuttamiseen kuluva lujittumisaika.

Eri maarakenteiden erilaiset rakenne- ja rakenneosavaatimukset asettavat stabiloitulle savelle vaatimuksia, jotka on otettava suunnittelussa huomioon. Poikkeamat normaalirakenteista esitetään suunnitelmissa ja erityistä huomiota kiinnitetään stabiloitun rakenteen kuivatusratkaisuihin stabiloitun saven mahdollisen routivuuden takia.

2.2 POHJASUHTEET JA POHJAVEDENPINTA

Massastabiloitavalla savella rakennettavan kohteen pohjasuhteet tutkitaan kohteen vaativuuden asettamalla tarkkuudella. Yleensä pohjasuhteet massastabiloiduissa kohteissa muodostuvat kokoonpuristuvista maalajeista, kuten savesta, turpeesta tai liejusta. Stabiloitua savea ei ole järkevää käyttää esimerkiksi katurakenteissa, jos kysymyksessä on kitkamaalajista muodostuva kantava pohjamaa tai kallioleikkaus. Teollisuuden sivutuotteilla stabiloitua savea tulee käyttää pohjaveden alapuolella harkitusti ja sivutuotteen ympäristöominaisuudet tulee tuntea. Saven stabilointia ja

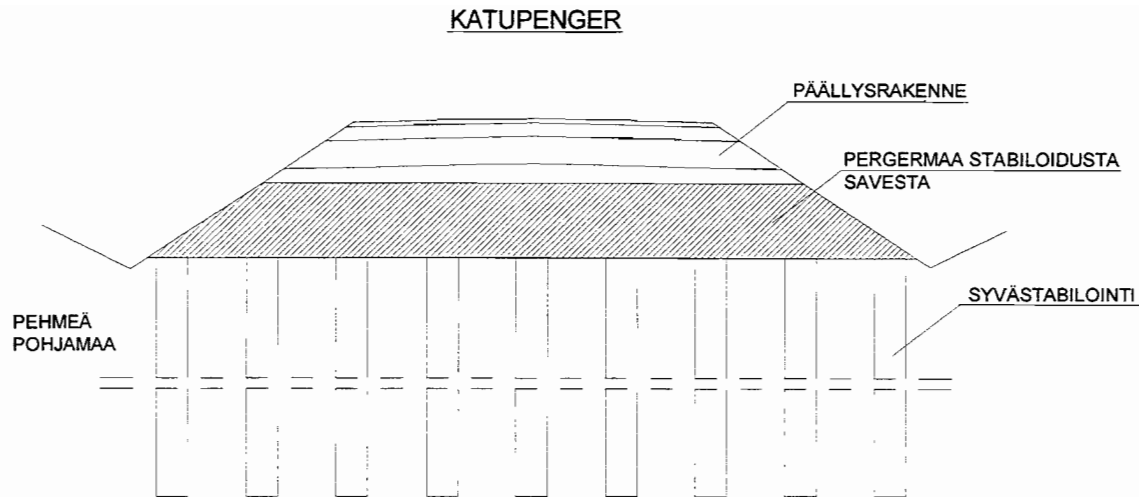
hyötykäyttöä kannattaa harkita, jos savea on saatavilla lähellä rakennettavaa kohdetta, jolloin massastabiloidun saven käyttö on taloudellisesti kannattavaa.

Mikäli pohjavesi virtaa stabiloitujen kerrosten läpi tai niiden välittömässä läheisyydessä, saattaa pohjaveteen liueta sideaineista joitain niiden sisältämiä aineita. Varsinkin kun käytetään teollisuuden tuottamia uusiotuotteita sideaineina, on niiden liukoisuus ja vesinäytteet tutkittava laboratorioissa. Yleissäännön mukaan pohjavedenpinnan on oltava noin metrin päässä stabiloidusta rakenteesta, jolloin riskit haitta-aineiden liukenemisesta pohjaveteen vähenevät.

2.3 MASSASTABILOINNIN JA SYVÄ(PILARI)STABILOINNIN YHDISTÄMINEN

Massastabiloinnilla voidaan käsitellä maata enintään noin 2,5...3,0 metrin syvyyteen ja usein pohjamaa jatkuu syvemmällekin pehmeänä ja kokoonpuristuvana. Massastabiloidun savikerroksen alapuolisen pehmeän pohjamaan vahvistaminen voidaan tehdä perinteisiä pohjanvahvistusmenetelmiä soveltaen, riippuen kohteen kuormituksista ja rakennevaatimuksista sekä vallitsevista pohjaolosuhteista ja pohjavedenpinnasta. Yleisin käytössä oleva pohjanvahvistusmenetelmä massastabiloinnin yhteydessä on syvä(pilari)stabilointi.

Syvästabiloinnin ja massastabiloinnin yhdistäminen on taloudellisesti järkevää, koska molemmissa menetelmissä voidaan usein käyttää samoja sideaineita ja sideaineyhdistelmiä. Tulevaisuudessa tulisi kehittää sellaisia syvästabilointilaitteita, jotka pystyvät läpäisemään massastabiloidun kerroksen. Tällöin voitaisiin tehdä ensin pehmeän saven yläpinnan massastabilointi, jolloin syvästabilointikoneet pystyisivät työskentelemään massastabiloidun kerroksen päällä. Nykyinen työjärjestys on päinvastainen ja aiheuttaa ylimääräistä työtä ja kustannuksia. Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva massa- ja syvästabiloidun rakenteen yhdistämisestä katupenkereessä.



Kuva 3. Syvästabiloinnilla vahvistettu massastabiloitu pengeri.

2.4 KADUT

2.4.1 Alusrakenteen parantaminen

Kadun alusrakenteella tarkoitetaan päällysrakenteen alla olevaa leikkauspohjaa tai rakennettua pengertä. *Alusrakenteen parantamisella* tarkoitetaan lähinnä alusrakenteen kantavuuden parantamista massastabiloidulla savella ja sitä voidaan verrata massanvaihtoon. Stabiloidulla savella vahvistetaan pohjamaata sen verran, että alusrakenne täyttää sille asetetut kantavuusvaatimukset eri maarakenteiden alla. Pengerrakenteissa alusrakenteen parannustoimenpiteen laatu riippuu siitä, onko kysymyksessä katurakenne vai meluvalli. Katurakenteella pohjamaan kantavuusvaatimus on suurempi vaatien massastabiloinnilta enemmän. Alusrakennetta parantamalla päällysrakenne voidaan tehdä vastaavasti ohuempana. Alusrakenne voidaan parantaa routimattomaksi tai alkuperäistä vähemmän routivaksi ja lujemmaksi.

Katupenkereissä massastabiloidulla savella on kaksi käyttömahdollisuutta; pohjanvahvistusmenetelmänä tai pengertäytteenä. Penger perustetaan matalalla savikolla (savikon tai turvekerroksen paksuus alle 3 metriä) massastabiloinnilla vahvistetun saven varaan, jolloin kadun rakennekerrosten paksuudet määräytyvät alusrakenteen kantavuuden ja liikennekuormien mukaan. Stabiloidusta savesta voidaan rakentaa kitkamaalajin sijasta tien pengertäyte päällysrakennekerrosten alle, jolloin stabiloidun rakenneosan lujuus, routivuus ja kokoonpuristuminen on tunnettava. Pengerrakenteen pohjanvahvistuksena voidaan käyttää pilarisyvästabilointia (Kuva 3).

Massastabiloidun saven käyttökohteet ovat piha- ja pysäköintialueiden rakenteissa samanlaisia kuin katurakentamisessa laatuluokista ja liikennekuormista riippuen.

2.6 JOHTOLINJAT

Massastabiloidulla savella voidaan rakentaa johtolinjojen perustukset pehmeikköalueilla, jolloin kysymyksessä on alusrakenteen parantaminen kuten katu- ja pengerrakenteissa. Tällöin ei ole ongelmia rakenteen myöhemmän aukaisun vuoksi, koska putkien alapuolisiin rakenteisiin ei yleensä tarvitse koskea niiden toimiessa suunnitellulla tavalla. Käytettäessä stabiloitua savea putkikaivannon lopputäyttöihin on huomioitava massan lujuustaso, joka vaikuttaa ratkaisevasti massan kaivettavuuteen ja sitä kautta johtolinjojen kunnossapitoon sekä viereisiin rakenteisiin ja näiden liitoksiin.

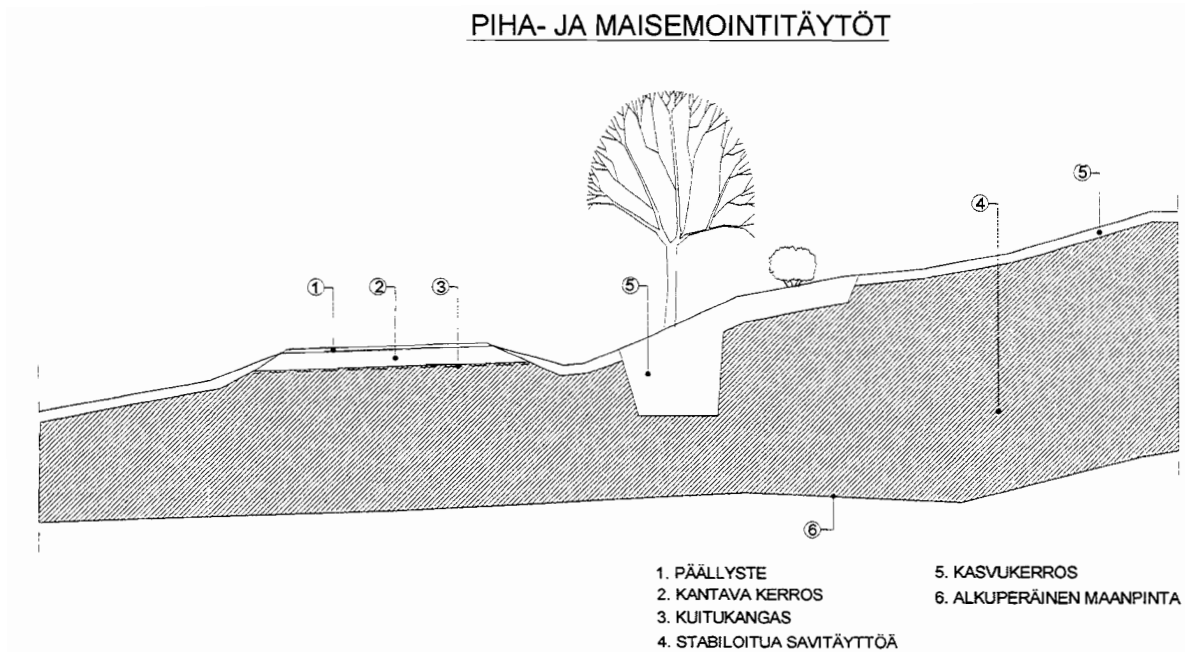
2.7 MELUVALLIT

Meluvallissa massastabiloidulta savelta vaadittu lujuustaso määräytyy penkereen korkeuden ja luiskan kaltevuuden mukaan. Tarvittaessa penkereen muotoilussa voidaan käyttää apuna geovahvisteita saven koossapysymisen varmistamiseksi. Geovahvisteiden avulla luiskat voidaan tehdä jyrkemmiksi. Geovahvisteita käytettäessä tulee ottaa huomioon vahvisteiden kestävyys emäksisessä massassa. Meluvallin perustamistapa riippuu pohjamaan kantavuudesta. Perustettaessa esimerkiksi syvästabiloinnilla kuten kuvassa 3 on esitetty voidaan samoja sideaineita käyttää ylijäämäsavesta tehdyn vallirakenteen massastabilointiin ja syvästabilointiin.

2.8 MUUT MAARAKENTEET

2.8.1 Piha- ja maisemointitäytöt

Piha- tai maisemointitäyttöjen tekeminen viheralueille ei yleensä edellytä stabiloidun savimassan routimattomuutta ja pieniä painumia voidaan sallia. Alueen käyttötarkoitus huomioon ottaen määritetään saven lujuustaso. Erityistä huomiota tulee kiinnittää maaston muotoiluun ja pintarakenteen ja kasvukerroksen valintaan. Erilaisia vaihtoehtoja täytön verhoilulle ovat nurmetus, kasvillisuuden istutus tai kitkamaaverhoilu. Koska stabiloitu massa ei sellaisenaan sovellu kasvualustaksi, se on peitettävä kasvukerroksella (Kuva 5). Nurmikon istuttamista varten riittää 0,2-0,3 metrin paksuinen kasvukerros, mutta pensaiden ja puiden vaatima 0,4...1,0 metrin syvä kasvukerros voidaan toteuttaa kaivamalla kuoppa erikseen jokaiselle istutettavalle pensaalle tai puulle.



Kuva 5. Stabiloidun saven käyttö maisemointitäytenä.

2.8.2 Rakennusten vierus- ja alustäytöt

Rakennusten vierus- ja alustäytöjen tekeminen massastabiloidulla savella vaatii riittävää routasuojasta. Savella on oltava riittävä lujuus ja pieni kokoonpuristuvuus, mutta toisaalta on huomioitava stabiloidun saven kaivettavuus lujittumisen jälkeen. Lisäksi on huomattava, että emäksisyydestä huolimatta stabiloidut savet saattavat aiheuttaa terästen korroosiota. Stabiloitua savea on syytä pyrkiä hyödyntämään paikallisesti ainakin silloin, kun kyseessä ovat suuret rakennusten kellarikerrosten vierustäytöt.

3. SUUNNITTELUPERUSTEET JA -KRITERIT

3.1 SUUNNITTELUKRITERIT

Eri maarakenteiden tärkeimmät suunnittelukriteerit ovat stabiloitavan saven ominaisuudet (stabiloituvuus), maarakennustekniset ominaisuudet ja rakenteelta vaadittu

- kuormituskestävyys
- routakestävyys eli routimattomuus ja jäätymis-sulamiskestävyys
- sallittu painuma tai kokoonpuristuma
- kestoikä.

Saven stabiloituvuudesta riippuu, voidaanko kyseistä savimateriaalia yleensä edes käyttää. Saven stabiloituvuutta käsitellään tässä julkaisussa kohdassa 7.1. Jäätymis-sulamiskestävyys kuvaa kuinka hyvin stabiloitu savi kestää halkeilematta ja

rapautumatta lämpötilamuutosten alaisena. Jäätymis-sulamiskestävyys määritetään laboratoriokokeella tietyn syklimäärän (10...12 jäädytys- ja sulatuskertaa) avulla. Massastabiloidun saven maarakennusteknisiä ominaisuuksia ovat

- kaivettavuus
- löyhtyminen
- kovettuminen sideaineiden sekoituksen, kuljetuksen ja varastoinnin aikana
- kuljetettavuus
- läjitettävyyden sekä
- stabiloidun massan käyttäytyminen rakennuskohteessa levityksen, tiivistyksen ja kovettumisen aikana eri sääoloissa.

Maarakennustekniset ominaisuudet vaikuttavat määräävästi maarakennuskoneiden työsaavutuksiin ja -kustannuksiin, ts. rakenteiden tuotantokustannuksiin ja välillisesti myös lopputuloksen laatuun. Maarakennustekniset ominaisuudet riippuvat merkittävästi olosuhdetekijöistä, kuten sateesta ja ilman lämpötilasta.

Kuormituskestävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä vastustaa muodonmuutoksia liikennekuormitusten alaisena. Maarakenteiden osalta kantavuus määräytyy pääosin maan leikkauslujuuden perusteella. Maan leikkauslujuus taas riippuu tehokkaasta koheesiosta, kitkakulmasta ja normaalijännityksestä. Massastabiloidulle savelle leikkauslujuus määritetään esimerkiksi suoralla leikkaus- ja kolmiakσιαalikokeella tai yksiakσιαalisen puristuslujuuskokeen avulla.

Routakestävyydellä tarkoitetaan stabiloidun rakenteen kykyä kestää jäätymistä ja toisaalta sulamispehmenemistä. Stabiloidulla savella rakennettu kerros on usein hauras ja voimakkaiden routanousujen johdosta se voi murtua helposti, vaikka liikennekuormaa ei olisi. Stabiloidun saven routakestävyys yleensä kasvaa puristuslujuuden ja sitä kautta leikkauslujuuden kasvaessa (Oulun Yliopisto, 1996). Stabiloidun rakenteen rikkoutuminen routanousujen johdosta voi aiheuttaa rakenteelle merkittäviä vahinkoja, joiden vakavuus riippuu kohteen vaatimustasosta. Esimerkiksi katurakenteissa stabiloidun kerroksen rikkoutuminen voi aiheuttaa kantavuuden heikkenemistä ja veden pääsyn kerroksen sisään. Sulamispehmeneminen vaikuttaa ensisijaisesti rakenteen kestävyysalenteena kuormituskestävyytenä. Routakestävyys on merkittävä tekijä myös rakenteen kestoajan kannalta.

Sallittu painuma eri maarakenteilla riippuu niiden käyttötarkoituksesta ja laatuvaatimuksista. Painumat voidaan jakaa tasaiseen ja epätasaiseen painumaa, joista jälkimmäinen on ongelmallisempi. Esimerkiksi kadut ja piha-alueet sietävät suuriakin tasaisia painumia vaurioitumatta. Tasaisen painumisen sallitun ylärajan asettavat kuitenkin kuivatus ja rakenteissa olevat ja niihin liittyvät rakenteet, kuten johtolinjat ja kaivot. Epätasainen painuma aiheutuu yleensä seuraavista tekijöistä:

- pohjasuhteiden nopeasta vaihtelusta
- siirtymärakenteiden puutteellisesta toiminnasta
- työvirheistä yleensä.

Rakenteen taloudellinen käyttöikä määritetään kohteesta riippuen yleensä suunnittelun yhteydessä, ainakin karkeasti. Stabiloidun rakenteen pitkäaikaistoimivuus varmistetaan riittävällä lujuudella ja jäätymiskestävyydellä. Eri

mitoituskäytöiden perusteella käyttöikä määritetään ainakin painuman ja pohjanvahvistusrakenteen osalta.

3.2 KADUT

3.2.1 Katuluokitus ja suunnitteluperusteet

Kadut luokitellaan niiden liikenteellisen merkityksen mukaan katuluokkiin 1...6 (Katu-90, 1991). Taulukossa 1 on esitetty katuluokat liikennemäärien mukaan.

Taulukko 1. Katuluokat niiden liikenneteknisen merkityksen mukaan (Katu-90, 1991).

Katuluok- ka	Kuvaus	Liikennemäärä (ajon./vrk)
1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu	> 30 000
2	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu	10 000...30 000
3	Pääkatu, kokooja- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu	2500...10 000
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu	500...2500
5	Pientaloalueen asuntokatu ja huoltoliikenteen väylät	10...500
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet. Ei ajoneuvoliikennettä	

Kadun päällysrakennekerroksissa käytettävän stabiloidun saven kantavuudelle ja routakestävyydelle asetetaan suurimmat vaatimukset. Painumien on tapahduttava tasaisesti ja käyttöikä pyritään mitoittamaan kuten normaaleissa katurakenteissa.

3.2.2 Kadun kuormituskestävyys

Stabiloitua savea voidaan käyttää ylemmissä katuluokissa (1-5) kadun tukikerroksessa, katupenkereessä sekä alusrakenteen parannusmateriaalina. Jalkakäytävillä, pyöräteillä yms. (katuluokka 6) stabiloitu savi soveltuu myös kantavaan kerrokseen. Levykuormituskokeissa stabiloidulle savelle vaaditaan eri kerroksissa samat keskimääräiset kantavuusarvot (E_2) kuin normaaleissakin katurakenteissa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Stabiloidulle savelle sallitut pienimmät kantavuusarvot (E_2) kadun eri kerroksille katuluokittain (Massastabiloitujen..., 1995).

Katuluokat	1...3		4...6	
	A-C	D-F	A-C	D-F
Penger tai pohjamaaluokka				
Penger tai pohjamaa	60 MPa	30 MPa	60 MPa	30 MPa
Suodatinkerros	60 MPa	45 MPa	60 MPa	45 MPa
Jakava kerros	125 MPa	125 MPa	100 MPa	100 MPa
Kantava kerros	175 MPa	175 MPa	150 MPa	150 MPa

Taulukossa 3 on esitetty kantavuusvaatimukset eri katurakenteille *päällysteen* päältä mitattuna.

Taulukko 3. Katurakenteiden kantavuusvaatimukset (E_2) katuluokittain (Katu-90, 1991).

Katuluokka	Kantavuusvaatimus päällysteen päältä [MPa]
1	500
2	420
3	350
4	250
5	200
6	175

3.2.3 Kadun routakestävyys

Katurakenteessa käytettävälle stabiloidulle savelle asetetaan suuri routakestävyysvaatimus, koska routanousuja kestämaton rakenne voi aiheuttaa haittaa liikenteelle ja vahingoittaa katurakennetta. Stabiloitu savikerros on usein hauras ja epätasaiset routanousut voivat aiheuttaa kerrokseen routanousueroja. Epätasainen routanousu ei välttämättä palaudu kesällä rakenteen sulattua ja vuosien kuluttua routanousu- ja sulamispainumaerot kerroksessa heijastuvat päällysteeseen.

Ajoradan ulkopuolella routivuus ei yleensä haittaa ja näille alueille voidaan sallia routanousua. Stabiloidulla savella rakennettujen katujen sallittuina routanousuina voidaan pitää samoja raja-arvoja kuin normaalimateriaaleilla rakennetuille kaduille. Taulukossa 4 on esitetty katujen ja teiden sallitut routanousut eri aikaväleillä. Päällystettyjen katujen ja raittien halkeilua voidaan oleellisesti vähentää teräsverkkoja käyttämällä.

Taulukko 4. Katujen ja teiden sallitut routanousut (Katu-90, 1991).

Kohde	Aika	
	5 vuotta [mm]	20 vuotta [mm]
1. Pää- ja paikallisväylät		
- Asfaltti	75	120
- Raitiotie	50	75
2. Hidas- ja pihakadut		
- Asfaltti	100	150
- Sora	120	175
- Kiveys	75	120
3. Torit		
- Asfaltti	100	150
- Kiveys	75	100
4. Kevyen liikenteen väylät		
- Asfaltti	100	150
- Sora	120	175
- Kiveys	75	120

Katurakenteissa stabiloidun saven jäätymis-sulamiskestävyydellä on merkitystä, sillä rapautuva stabiloitu savi heikentää kerroksen lujuutta ja kantavuutta. Näin ollen laboratoriokokein on määritettävä sellainen stabilointiseos, että stabiloitu kerros kestää toistuvia lämpötilan muutoksia rapautumatta ja rikkoutumatta. Kokeessa käytettävä syklien määrä on 10...12 jäädytys- ja sulatuskertaa.

3.2.4 Kadun sallittu painuma

Eri katutyypeille sallitut painumien ja kaltevuusmuutosten raja-arvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Katujen sallitut painumat ja kaltevuuden muutokset (Katu-90, 1991).

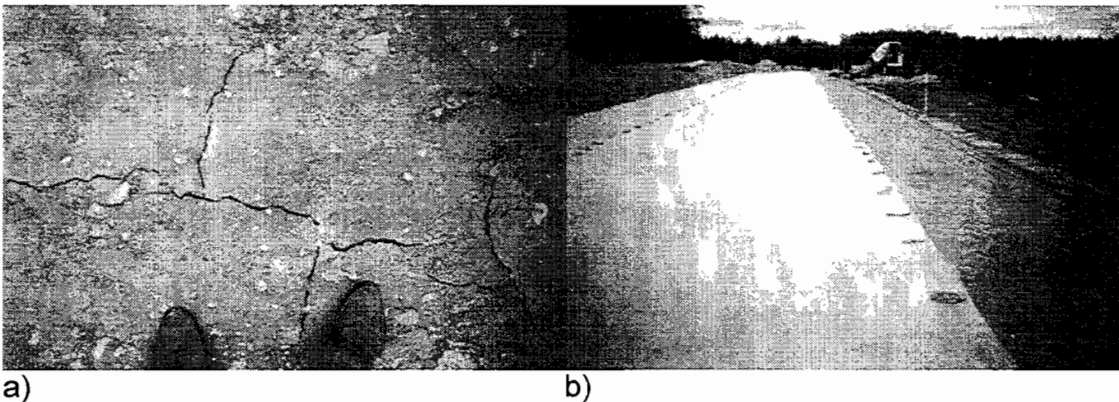
Kohde	Painuma-aika		Kaltevuuden muutos	
	5 vuotta [mm]	20 vuotta [mm]	Sivu [%]	Pituus [%]
1. Pää- ja paikallisväylät				
- Asfaltti	100	200	0,4	1,1
- Raitiotie	50	100	0,3	1,0
2. Hidas- ja pihakadut				
- Asfaltti	100	200	0,5	1,3
- Sora	125	250	0,8	1,6
- Kiveys	50	100	0,5	1,3
3. Torit				
- Asfaltti	75	150	0,4	1,1
- Kiveys	50	100	0,3	1,0
4. Kevyen liikenteen väylät				
- Asfaltti	100	200	0,5	1,3
- Sora	125	250	0,8	1,6
- Kiveys	50	100	0,5	1,3

Epätasaisia ja jyrkkiä painuma- ja routanousueroja pienennetään siirtymäkiiloja rakentamalla. Sidotut lujat kerrokset sietävät enemmän hitaasti tapahtuvia savikon konsolidaatiopainumia kuin nopeasti tapahtuvia routaliikkeitä.

3.2.5 Katurakentamisen maarakennustekniset ominaisuudet

Massastabiloidun saven maarakennusteknisistä ominaisuuksista tärkein on massan tiivistettävyyden. Stabiloitu savi tulee tiivistää ennen lujittumista tiiviysvaatimusten mukaisesti. Massastabiloidun saven levitys ja tiivistys kohteeseen yleensä onnistuu, jos stabiloitu savi täyttää sille suunnitelmassa asetetut vaatimukset. Yleensä massan seossuhteet olisi pyrittävä valitsemaan siten, että levitys- ja tiivistystyö voidaan tehdä asiaankuuluvilla työkaluilla esimerkiksi sorkkajyrällä ja normaalien tiivistyskertojen (KT97, 1997) mukaan.

Stabiloitu savirakenne saattaa halkeilla voimakkaan ja nopean kuivumisen seurauksena (Kuva 6a), vaikka kerros tiivistetään hyvin ja sideainetta lujusominaisuuksien saavuttamiseksi käytetään runsaasti. Halkeilu estetään joko suojaamalla rakenne liialliselta veden haihtumiselta esimerkiksi muovilla tai kastelemalla pintaa (Kuva 6b). Jälkitiivistämisellä rakenteen lujittumisen alkuvaiheessa voidaan myös vähentää halkeilua.



Kuva 6a) Halkeillut stabiloitu, tiivistetty savikerros. b) Rakenteen suojaaminen peitteellä.

3.2.6 Kadun käyttöikä

Stabiloidulla savella rakennetun kadun käyttöikä määritetään suunnitelmien yhteydessä samalla tavalla kuin normaalit kadut. Jos suunnitelmien yhteydessä ei ole muuta esittä, on kadun mitoituksen perusteena oleva käyttöikä 30 vuotta.

3.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET

Piha- ja pysäköintialueet ovat liikennöityjä alueita, joilla voi esiintyä suuriakin liikennekuormia. Tällöin stabiloidusta savesta rakennetulla kerroksella on oltava riittävä painuma-, kuormitus- ja routakestävyys.

Taulukossa 6 on esitetty piha- ja pysäköintialueiden sallitut routanousut pihojen laatuluokituksen mukaisesti. Routivalle alusrakenteelle rakennettaessa rakenteen laskennalliset routanousut on rajoitettava taulukon 6 arvojen mukaiseksi.

Taulukko 6. Pihojen sallitut routanousut laatuluokituksen mukaan (Talorakennuksen routasuojausohjeet, 1997).

Pihan päällyste	Laatuluok- ka	Mitoituspakasmäärä F_{mit}	Sallittu routanousu h_{sal} mm
Asfaltti- tai betonipäällyste	1	F_{10}	50
	2	F_{10}	100
	3	-	ei rajoitettu
Sora- tai murskepinta	1	F_{10}	50
	2	F_{10}	100
	3	-	ei rajoitettu
Päällyskivi- tai laattapinta	1	F_{10}	50
	2	F_{10}	100
	3	F_{10}	150

Tavoiteltujen kantavuuksien määrittämiseen voidaan käyttää samoja kantavuusarvoja eri kerroksille kuin katurakenteissa liikennekuormien mukaan. Sallittuna painumina voidaan käyttää liikennekuormasta riippuen joko taulukossa 4 tureille tai kevyen liikenteen väylille asetettuja raja-arvoja.

Pysäköinti- ja piha-alueilla stabiloidulta savelta vaaditaan samoja maarakennusteknisiä ominaisuuksia eli hyvää tiivistettävyyttä. Rakenteen kestoikä määritetään samoilla kriteereillä kuin katurakenteissa sen mukaan, mikä on piha- tai pysäköintialueen vaatimustaso.

3.4 JOHTOLINJAT

Johtolinjoilla stabiloitua savea voidaan käyttää sekä alusrakenteen parannuksessa ja perustuksissa että lopputäytössä. Johtolinjoja kulkee sekä liikennöidyillä että liikennöimättömillä alueilla. Kaupunkialueilla johtolinjat on yleensä sijoitettu kadun alle, jolloin suunnittelun lähtökohtana ovat usein viemärit. Viemärit koostuvat suhteellisen pitkistä suorista osuuksista, jolloin niiden minimikaltevuudet on turvattu. Minimikaltevuuksien varmistamiseksi putkien sallitut painumat ovat pieniä. Myös liikennöimättömillä alueilla epätasaiset painumat eivät saa olla suuria. Painumat rajoitetaan asettamalla stabiloidulle savelle tietty lujuusvaatimus ja sitä kautta riittävä kantavuus.

Routakestävyttä johtolinjojen alusrakenteena käytettävältä stabiloidulta savelta ei vaadita, koska yleensä johtolinjat on joko viety roudattomaan syvyyteen tai ne on routasuojattu. Sen sijaan käytettäessä stabiloitua savea lopputäytössä on sillä oltava routakestävyttä ainakin liikennöidyillä alueilla.

Johtolinjoja suunniteltaessa on otettava huomioon lopputäytössä käytettävän stabiloidun saven lujuustaso. Kaivettavuus ei saa huonontua eikä kaivulujuus kasvaa niin, että johtolinjojen aukaisu ja kunnossapito vaikeutuvat.

Johtolinjojen pohjanvahvistusrakenteet mitoitetaan 50 vuodelle ja painumamitoitukset liikennöidyillä alueilla 50 ja liikennöimättömillä alueilla 15 vuodelle.

3.5 MELUVALLIT

Meluvalleissa stabiloitua savea voidaan käyttää joko meluvallin alusrakenteen parannusmateriaalina tai koko meluvalli voidaan rakentaa stabiloidusta savesta.

Alusrakenteen parannusmateriaalina stabiloidulle savelle on määritettävä riittävä leikkauslujuus, jotta meluvallin vakavuus on riittävä. Rakenteen sallitut painumat määräytyvät yleensä ympäröivien rakenteiden ja alueiden vaatimuksista. Vaativissa kohteissa voidaan käyttää taulukossa 4 kevyen liikenteen väylille asetettuja painumavaatimuksia. Meluvallin täytemateriaalina stabiloidulla savella täytyy olla riittävä sisäinen lujuus vakavuuden varmistamiseksi.

Yleensä meluvallin peittää talvella lumi ja alusrakenne on penkereen alla, jolloin jäätyminen on enintään vähäistä eikä stabiloidun saven jäätymistä tapahdu. Käytettäessä stabiloitua savea meluvallin täyteenä sille voidaan sallia yleensä routimista, joskin jyrkät luiskat on suunniteltava jäätymissyvyyteen asti routimattomiksi sortumien välttämiseksi roudan sulamisvaiheessa.

3.6 MUUT MAARAKENTEET

3.6.1 Piha- ja maisemointitäytöt

Stabiloidun saven käyttäminen piha- tai maisemointitäytöissä ei yleensä edellytä routakestävyyttä ja sallitut painumat voivat olla suuriakin. Saven kuormituskestävyys ja lujuustavoite asetetaan alueen käyttötarkoituksen mukaan. Koska stabiloitu massa ei sellaisenaan sovellu kasvualustaksi, se on peitettävä kasvukerroksella. Piha- ja maisemointitäytöissä stabiloidun saven läjitettävyyden on oltava sellainen, että sillä saadaan muotoiltua halutun mukainen rakenne.

3.6.2 Rakennusten vierus- ja alustäytöt

Rakennusten vierus- ja alustäytöissä stabiloitu savi edellyttää routimattomuutta tai riittävää routaeristystä. Routamitoitus tehdään (Talonstrakennuksen routasuojausohjeet, 1997) mukaan riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta.

Stabiloidulla savella pitäisi olla kuormituskestävyyttä sen verran, että sillä on kantavuus rakennuksen vierustoilla. Toisaalta olisi otettava huomioon saven kaivettavuus ja kaivulujuus. Lisäksi on huomattava, että emäksisyydestä huolimatta massastabiloidut savet saattavat aiheuttaa terästen korroosiota.

4. LÄHTÖTIEDOT

4.1 YLEISTÄ

Käytettäessä massastabiloitua savea maarakenteissa tarvitaan kohdetta suunniteltaessa seuraavia tietoja:

- kohteessa vaikuttavat kuormat
- ilmastorasitukset
- pohjamaan kantavuus-, painuma- ja routivuusominaisuudet ja
- massastabiloitavan saven ominaisuudet.

Maarakenteissa vaikuttavat kuormat muodostuvat pääosin rakenteen omasta painosta sekä liikennekuormasta. Lisäksi pohjamaalle kohdistuvia rasituksia aiheuttavat:

- pohjavedenpinnan aleneminen
- kaivantojen täytöt kaivumaita raskaammilla materiaaleilla sekä
- leikkaustöistä ja kevennyksistä kuormitusta vähentävät tekijät.

Ilmastorasitukset valitaan mitoitettavan rakenteen käyttöiän perusteella esimerkiksi enintään kerran 10 tai 20 vuodessa toistuvina.

Alusrakenteen ominaisuuksista määritetään pohjamaan kantavuus- ja routivuusluokka, joiden perusteella yläpuoliset stabiloidusta savesta tehtävät rakenteet mitoitetaan. Katujen suunnittelussa käytetään Tielaitoksen kantavuusluokitusta (*Taulukko 7*). Alusrakenteesta tulee määrittää myös painumaominaisuudet, jotta yläpuolisen rakenteen painumat voidaan laskea.

Maalajien luokittelu routiviin ja routimattomiin tehdään kuvassa 7 esitettyjen rakeisuuskäyrien perusteella. Routivia ovat kaikki rakeisuusalueen 1 maalajit ja ne alueiden 2,3, ja 4 maalajit, joiden rakeisuuskäyrän alapää ulottuu hienoimman alueen puolelle. Rakeisuuteen perustavaa luokitusta täydennetään tarvittaessa maalajin luokitusominaisuuksiin ja hydraulisiin ominaisuuksiin perustuvilla laboratoriotutkimuksilla. Milloin tarkasteltavien rakenteiden laatuvaatimukset ovat erityisen korkeat tarkennetaan routivuusluokitusta routanousukokeilla tai kenttähavainnoilla.

Saven tärkein ominaisuus on sen stabiloituvuus. Saven stabiloituvuuteen vaikuttavat sen happamuus, humus-, sulfaatti- ja vesipitoisuus, jotka vaihtelevat eri savilla alueittain ja eri syvyyksillä. Saven stabiloituvuuteen vaikuttavat tekijät on käsitelty tarkemmin tässä julkaisussa kohdassa 7.1. Stabiloidun saven lähtötietoina tarvitaan ainakin lujuus ja vaativimmissa kohteissa jäätymis-sulamiskestävyys, jotka molemmat vaikuttavat kantavuuteen.

Taulukko 7. Alusrakenteen kantavuusluokitus [Katu-90, 1991].

Maalaji	Tarkennus	Lyhennys	Luokka
Kallio	Kallio Louhe ¹⁾ Murske ¹⁾	Ka Lo M	A A A
Kivet		Ki	A
Sora		Sr	B
Sora-moreeni	Routimaton Routiva ²⁾	rton SrMr SrMr	C E (F)
Hiekka	Routimaton karkea Routimaton keskik. Routimaton hieno Routiva keskik. Routiva hieno	rton kaHk rton keHk rton hHk keHk hHk	C D D (E) ⁴⁾ E E (F) ⁴⁾
Hiekka-moreeni	Routimaton Routiva	rton HkMr	D (E) ⁴⁾ E (F) ⁴⁾
Siltti		Si	F (G) ⁴⁾
Silttimoreeni		SiMr	E ⁵⁾
Savi	Kuivakuori ($h \geq 1$ m) Sitkeä ($S_u \geq 25$ kN/m ²) ³⁾ Pehmeä ($S_u \geq 25$ kN/m ²) ³⁾	Kuivak. Sa Sa Sa	E F (E) ⁵⁾
Lieju Turve		Lj Tv	G

1) Routiva murske sekä routivaa maata sisältävä louhe ja kivet rinnastetaan vastaavaan routivaan maalajiin.

2) Kantavuudeksi voidaan valita 35 MN/m², jos kysymyksessä on kuiva pengeri tai jos hienoaainespitoisuus on enintään 20 % ja paikka ei ole märkä (kts. 4).

3) Siipikairauksessa todettu suljettu leikkauslujuus.

4) Suluissa olevaa kantavuusluokkaa käytetään, kun maa-aines on märkää lopullisessa alusrakenteessa eli pohjaveden etäisyys alusrakenteen pinnasta on alle 1 m tai paikkaan kerääntyy pintavesiä.

5) Penkereessä kuivana

Luokat:

A = 300 MN/m²

B = 200 MN/m² (150...280 MN/m²)

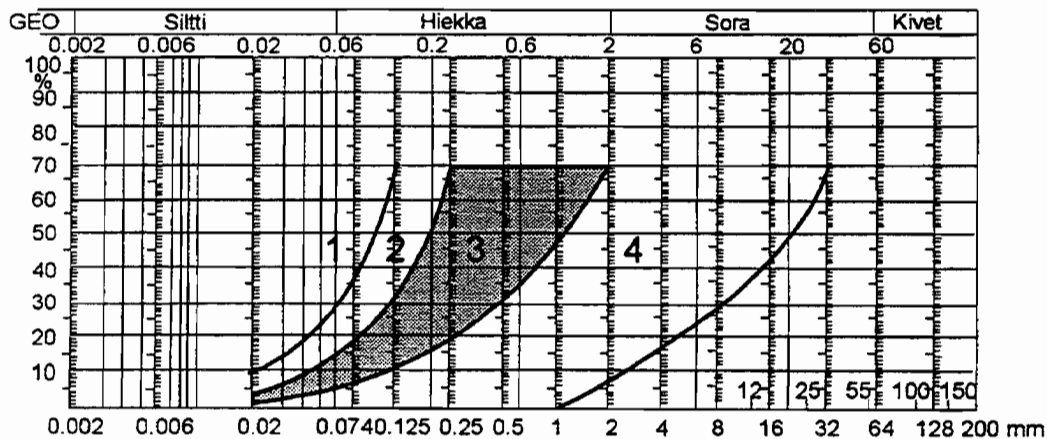
C = 100 MN/m² (70...150 MN/m²)

D = 50 MN/m² (35...70 MN/m²)

E = 20 MN/m² (15...15 MN/m²)

F = 10 MN/m² (5...15 MN/m²)

G = 5 MN/m²



Kuva 7. Maalajien routivuuden luokittelu rakeisuuden perusteella (Ehrola, 1996).

4.2 KATURAKENTEET

4.2.1 Katujen kuormat

Katurakenteessa vaikuttavia kuormituksia ovat liikennekuorma sekä katurakenteen oma paino. Liikennekuorma lasketaan liikennemäärien perusteella Tielaitoksen ohjeiden mukaan (Teiden suunnittelu, osa IV, 1985). Rakenteen oman painon laskemiseen tarvitaan eri rakennusmateriaalien tilavuuspainot.

Pohjaveden pinta ja sen vaihteluväli sekä mahdollinen aleneminen rakentamisen yhteydessä tulee määrittää. Pohjaveden pinnan muutokset vaikuttavat alusrakenteen kantavuus-, routivuus- ja painumaominaisuuksiin.

Muut kuormitustarkasteluun vaikuttavat tekijät kuten täytöt ja kevennykset kohteessa tai sen läheisyydessä täytyy sisällyttää lähtötietoihin.

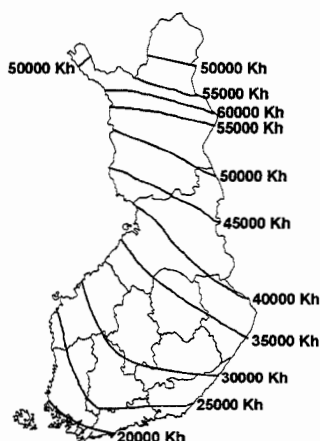
4.2.2 Ilmastotekijät

Ilmastorasituksien määrittämiseksi tarvitaan kohteessa vallitseva pakkasmäärä. Mitoittavana pakkasmääränä käytetään harkinnan mukaan pakkasmäärää, joka on joko kerran 5:ssä (F_5), 10:ssä (F_{10}) tai 20:ssä (F_{20}) vuodessa toistuva (Kuva 8). Roudan syvyys ja sulamispehmenemisaika ovat suhteessa pakkasmäärään. Pakkasmäärä vaikuttaa myös routanousun ja sulamispehmenemisen suuruuteen tietyssä paikassa. Roudan tunkeutumissyvyys (z) lasketaan kaavalla 1.

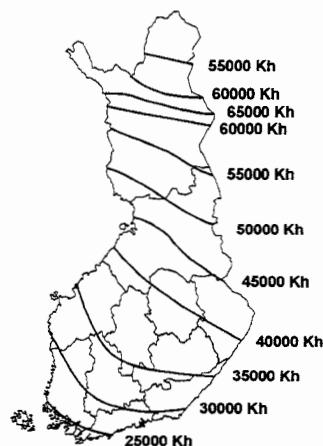
$$z = c \cdot \sqrt{F} \quad (1)$$

missä c = kerroin (esim. savella ja siltillä 0.9)
 F pakkasmäärä ($h^\circ C$)

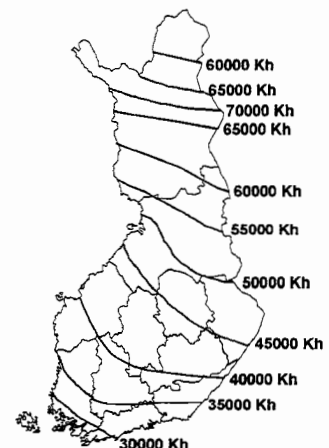
Pakkasmäärä (F_5) 1961-1990



Pakkasmäärä (F_{10}) 1961-1990



Pakkasmäärä (F_{20}) 1961-1990



Kuva 8. Routamitoituksessa käytettävät mitoittavat pakkasmäärät (Talonrakennuksen routasuojausohjeet, 1997).

4.2.3 Alusrakenteen ominaisuudet

Alusrakenteen ominaisuudet vaikuttavat katurakenteen kantavuus- ja routivuusmitoitukseen sekä painumien laskemiseen. Pohjamaasta määritetään maamateriaalien kantavuus- ja routivuusluokka (*Taulukko 7, Kuva 7*). Rakeisuuskäyrän ja vesipitoisuuden lisäksi voidaan määrittää maamateriaalien E-moduuli esimerkiksi rakeisuuden avulla. Lisäksi on määritettävä kohteen pohjasuhteet, painumaparametrit sekä pohjaveden pinta.

4.2.4 Stabiloitavan saven ominaisuudet

Stabiloitavan savimateriaalin tärkein ominaisuus on sen stabiloituvuus. Savelle on tehtävä *stabiloituvuuskokeita* eri sideaineilla ja sideaineyhdistelmillä sekä määrillä. Stabiloitukokeita varten käytettävästä savesta tulee ottaa kattavat näytteet sekä koko alueen laajuudelta että eri ottosyvyyksiltä.

Stabiloidun savimassan lähtötietojen määrä riippuu katuluokasta. Mitä ylemmän luokan kadusta on kysymys sitä laajemmat lähtötiedot ja laboratoriokokeet tarvitaan. Yleensä alempiluokkaisilla kaduilla riittää tieto routakestävydestä ja lujuudesta. Routakestävyys tutkitaan laboratoriossa jäädytys-sulatuskokeella sekä routanousukokeilla tai välillisesti puristuslujuuksien avulla.

4.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET

Pysäköinti- ja piha-alueet mitoitetaan liikennekuormien ja laatuluokkien mukaan ja ne voidaan rinnastaa katurakenteisiin, jolloin tarvitaan samoja lähtötietoja kantavuus-, routivuus- ja painumamitoituksen osalta kuin katurakenteissa. Myös alusrakenteen osalta määritetään samat asiat kuin katurakenteissa. Stabiloidulta savelta vaadittu routakestävyys riippuu alueen vaativuustasosta.

4.4 JOHTOLINJAT

4.4.1 Kuormat

Johtolinjoihin vaikuttavia kuormia ovat

- alku- ja lopputäytön omapaino
- liikennöidyillä alueilla liikennekuorma sekä kadun rakennekerrosten omapaino
- liikennöimättömillä alueilla mahdolliset muut yläpuoliset rakenteet
- pohjaveden pinnan aleneminen
- kevennykset.

Pohjaveden taso ja sen mahdollinen aleneminen otetaan huomioon PRO-87 mukaan aina. Ilman erillistä selvitystä otetaan 1 m:n (10 kPa) pohjavedenpinnan alenema huomioon.

4.4.2 Ilmastotekijät

Vesijohdot pyritään rakentamaan aina roudattomaan syvyyteen, ellei käytetä routaeristettä tai lämmitystä. Auratuilla alueilla roudaton syvyys on Suomessa noin 1,8...2,5 metriä. Johtolinjojen perustuksissa käytettävän massastabiloidun saven routakestävyydellä ei ole merkitystä, jos johtolinjat perustetaan routarajan alapuolelle tai routaeristetään. Lopputäyttömateriaalina sen sijaan massastabiloidun saven mahdollinen routiminen on otettava huomioon joko riittävän paksulla päällysrakennekerroksella, stabiloidun saven routimattomuudella tai routaeristeellä.

4.4.3 Alusrakenteen ominaisuudet

Stabiloidun saven kokoonpuristuminen on yleensä merkityksetöntä, joten sitä käytettäessä lopputäytöissä ei erillistä painumatarkastelua tarvita. Kadun alla pyritään johtolinjojen lopputäyttö ja kadun muun alueen alusrakenne tekemään mahdollisimman tasalaatuisiksi painumien ja kantavuuden osalta.

4.4.4 Stabiloitavan saven ominaisuudet

Massastabiloidun savimassan tärkeimmät ominaisuudet johtolinjojen lopputäytteenä ovat riittävä kuormituskestävyys ja toisaalta kaivettavuus. Tällöin laboratoriokokeiden tuloksena täytyy saada määritettyä stabiloidulle savelle riittävä puristus/leikkauslujuus sekä routakestävyys. Näiden ominaisuuksien täyttymisen lisäksi täytyy olla tieto siitä, että stabiloitu savimassa on kovettumisen jälkeen vielä kaivettavissa auki johtolinjojen kunnossapidon yhteydessä.

4.5 MELUVALLIT

Meluvallien kuormat muodostuvat yleensä ainoastaan meluvallin täyttömateriaalin omasta painosta, jolloin on tiedettävä täyteen tilavuuspaino. Stabiloidun saven routakestävyyttä ei tarvitse määrittää, jos savea käytetään täyteaineena. Meluvallien luiskien vakavuus on aina tarkistettava ja mitoitettava. Tällöin tarvitaan tietoa stabiloidun saven ja pohjamaan leikkauslujuudesta.

4.6 MUUT MAARAKENTEET

Piha- ja maisematäytöissä ei ole tarkasti määritelty rakenteiden painuma-, routa- tai kuormituskestävyysvaatimuksia. Yleensä lähtötiedot määräytyvät rakenteen vaatimuksen mukaan ja tarvittavat parametrit voidaan ottaa katurakenteista soveltaen.

5. TYYPPIRAKENTEET

5.1 MASSASTABILOITUJEN RAKENTEIDEN SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Tyyppirakenteesta riippuen on tärkeää varmistaa oikealla suunnittelulla ja rakenneratkaisuilla massastabiloidun savirakenteen riittävä routa- ja kuormituskestävyys. Routa- ja kuormituskestävyys ovat yleensä toisistaan riippuvaisia eli, jos rakenteen routakestävyys on heikko niin koko rakenteen kuormituskestävyys heikkenee myös nopeasti rakenteen routiessa. Varsinkin katu sekä piha- ja pysäköintialueilla tulee massastabiloidulla savikerroksella olla hyvä routakestävyys, koska rakenteelta vaaditaan korkeaa kuormituskestävyyttä. Painumakestävyyttä parannetaan joko pilarisyyvästabiloinnilla tai geovahvisteilla.

Massastabiloidun rakenteen routakestävyyteen vaikuttaa:

- alueen pakkasmäärä
- pohjaveden pinnan taso
- pohjamaan routivuusluokka
- massastabilointiin valittu sideaine ja sideaineella saavutettava lujuus.

Rakenteen routimista vähennetään päällysrakenteen paksuutta lisäämällä tai routaeristeillä. Stabiloidun rakenteen asianmukaisella kuivatuksella saadaan routimisriskiä vähennettyä.

Kuormituskestävyys varmistetaan mitoittamalla rakennekerrokset riittävän paksuiksi. Alusrakenteen kantavuusluokka vaikuttaa päällysrakenteen mitoittamiseen ja pohjamaa kantavuutta voidaan parantaa massastabiloimalla pehmeä pohjamaa. Pohjamaata voidaan vahvistaa myös syvä(pilari)stabiloinnilla sekä erilaisilla geovahvisteilla.

Nykyiset geovahvisteet ovat synteettisistä polymeereistä jatkojalostamalla valmistettuja kudoksia, verkkoja sekä liuskoja ja liuskoista yhteenliittämällä valmistettuja verkkomaisia punottuja rakenteita. Myös puuta ja terästä käytetään. Terästä käytetään verkkoina sekä teräsohutlevyinä.

Päällysteen vedenläpäisevyys vaikuttaa kadun sekä piha- ja pysäköintialueiden routa- ja kuormituskestävyyteen. Mikäli päällyste päästää runsaasti vettä päällysrakennekerrokseen, nopeutuu rakenteen rikkoutuminen moninkertaiseksi.

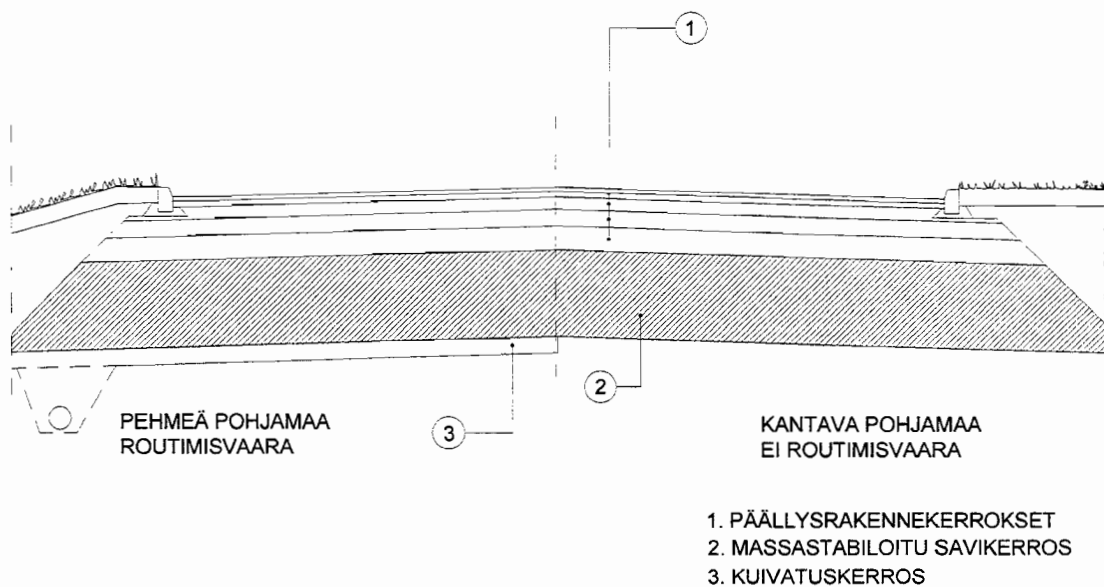
Syvästabilointi ulotetaan joko kovaan maahan asti tai pilarointi tehdään määrämittäisenä. Massastabiloinnin ja syvästabiloinnin yhdistämisen etuna on, että molemmissa voidaan käyttää samaa sideainetta, jolloin kustannuksia säästyy. Toisaalta molemmissa voidaan käyttää eri sideaineita, jolloin on mahdollista stabiloida kaksi toisistaan poikkeavaa maalajia erikseen juuri molemmille parhaiten sopivalla sideaineella tai sideaineyhdistelmällä.

5.2 KATURAKENTEET

5.2.1 Alusrakenteen parantaminen

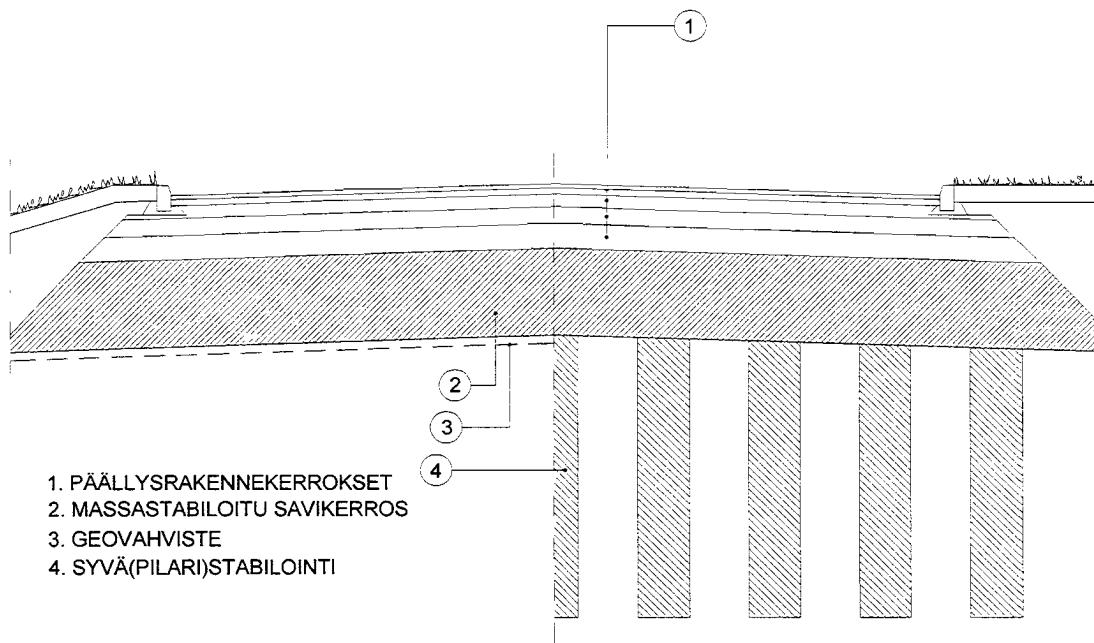
Alusrakenteen parannuksessa katurakenteen alle rakennetaan massastabiloidusta savesta lujittuva kerros, jolloin pohjamaan kantavuus paranee. Stabiloidun savimasan kerrospaksuus ja lujuus mitoitetaan pohjamaalle asetetun kantavuusvaatimuksen mukaan. Pohjamaalta vaadittava kantavuus katurakenteissa on yleensä 35...70 MPa.

Katurakenteen päällysrakennekerrokset mitoitetaan kantavuuden ja routasyvyyden mukaan, jolloin stabiloidun kerroksen on täytettävä sille asetetut lujuus- ja kantavuusvaatimukset. Stabiloidun kerroksen päällä on oltava sitomatonta mursketta ≥ 100 mm. Jos pohjamaa stabiloidun kerroksen alla on routivaa, rakennetaan stabiloidun savikerroksen alle 200...400 mm paksu routimaton kerros hiekasta pienentämään ja tasamaan routanousuja (Kuva 9) tai stabiloidun kerroksen kestävyys varmistetaan muulla tavoin, esimerkiksi routaeristettä käyttämällä.



Kuva 9. Massastabiloidun savikerroksen alle rakennetaan hiekasta routimaton kerros tasamaan routanousuja pohjamaan ollessa routivaa.

Jos alusrakenteen parantaminen massastabiloidulla savella ei riitä varmistamaan katurakenteelta vaadittua painumakestävyyttä, parannetaan rakenteen painumakestävyyttä esimerkiksi syvästabiloinnilla tai geovahvisteilla (Kuva 10).



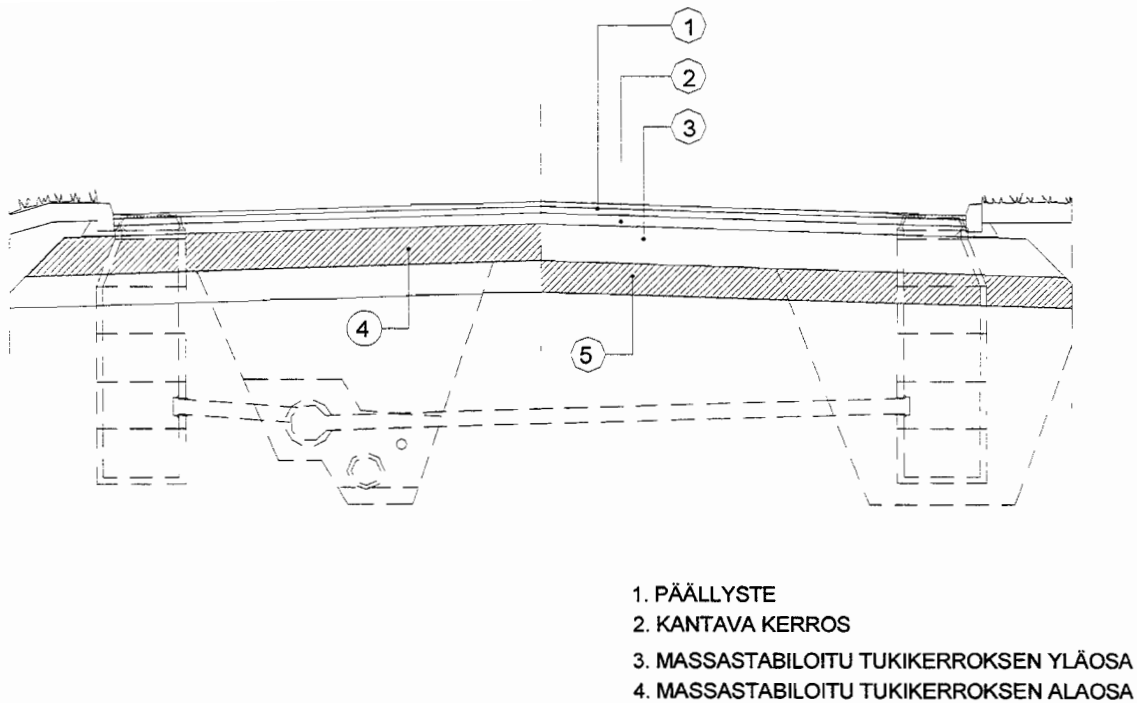
Kuva 10. Kadun alusrakenteen kantavuuden parantaminen massastabiloidulla savella sekä painumakestävyys lisääminen syvästabiloinnilla tai geovahvisteella.

5.2.2 Kadun päällysrakennekerrokset

Kadun päällysrakenteessa massastabiloitu savi soveltuu raskaasti liikennöidyille ajoradoille kadun tukikerrokseen. Kadun päällysrakenteessa on tärkeää varmistaa stabiloidun lujittuneen savikerroksen säilyminen ehjänä. Tämä varmistetaan stabiloidun saven riittävällä puristuslujuudella, kerrospaksuudella sekä sulamisjäätymiskestävyydellä.

Massastabiloidun saven puristuslujuus määrää materiaalin E-moduulin, jota käytetään kadun rakennekerrosten mitoituksessa. Stabiloidun kerroksen paksuus mitoitetaan Odemark:n kaavan mukaisesti kuten muutkin rakennekerrokset. Routavauriot ehkäistään routivilla pohjamailla rakentamalla tukikerroksen ja pohjamaan väliin hiekasta 200...400 mm paksu routimaton kerros (tai vaihtoehtoisesti alusrakenne stabiloidaan routimattomaksi), joka tasaa routanousuja sekä toimii kuivatuskerroksena. Massastabiloidun savirakenteen sulamis-jäätymiskestävyys tulee varmistaa laboratoriossa tehtävin ennakkokokein.

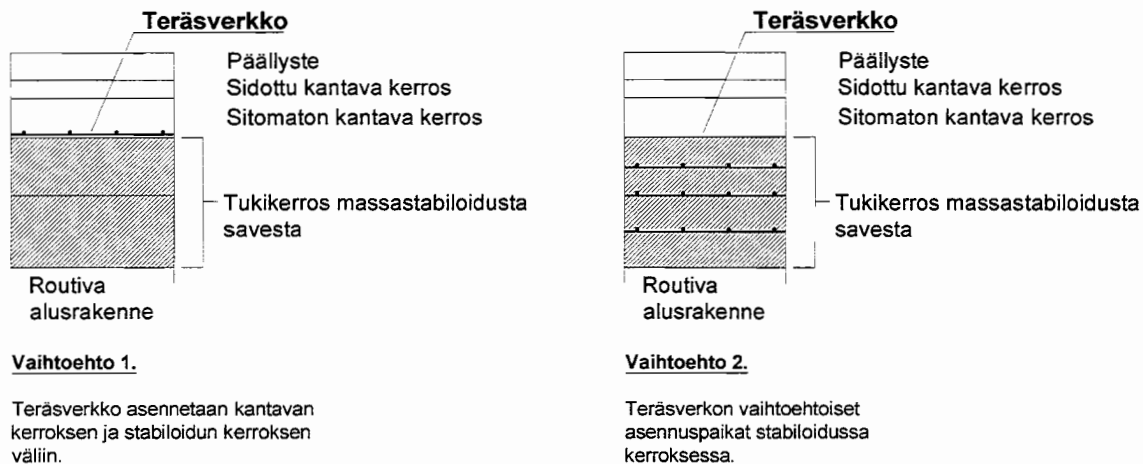
Kuvassa 11 on esitetty periaatekuva massastabiloidun saven käytöstä kadun tukikerroksen eri osissa. Tukikerroksen tekeminen kokonaan stabiloidusta savesta on myös mahdollista, mutta kantavaan kerrokseen stabiloitua savimassaa ei tule käyttää. Kantavan kerroksen paksuuden (sitomatonta mursketta) on oltava ≥ 100 mm.



Kuva 11. Massastabiloidulla saven käyttö kadun tukikerroksen eri osissa.

Katurakenteen routakestävyyttä ja kantavuutta saadaan parannettua massastabiloinnin yhteydessä asentamalla päällysrakenteeseen teräsverkko. Teräsverkko ehkäisee tehokkaasti routanousun aiheuttamien pituussuuntaisten halkeamien syntymistä päällysteeseen. Teräsverkolla on rakenteen kantavuutta parantava merkitys, mutta tutkimustietoa ei ole paljon vielä käytettävissä. Teräsverkon vaihtoehtoiset asennuskohdat kadun tukikerroksen poikkileikkauksessa on esitetty kuvassa 12. Teräsverkkojen käyttöä kadun päällysrakenteissa on käsitelty julkaisussa (Teräsverkkojen käyttö lujitteina tie- ja katurakenteissa, 1999).

Katurakenteiden painumakestävyyttä pystytään parantamaan käyttämällä stabiloidun tukikerroksen alla syvästabilointia tai geovahvistetta. Rakenne toteutetaan kuten kohdassa "Alusrakenteen parantaminen" on esitetty (Kuva 10).

KATURAKENTEEN VAHVISTAMINEN TERÄSVERKOLLA

Kuva 12. Katurakenteen vahvistaminen teräsverkolla.

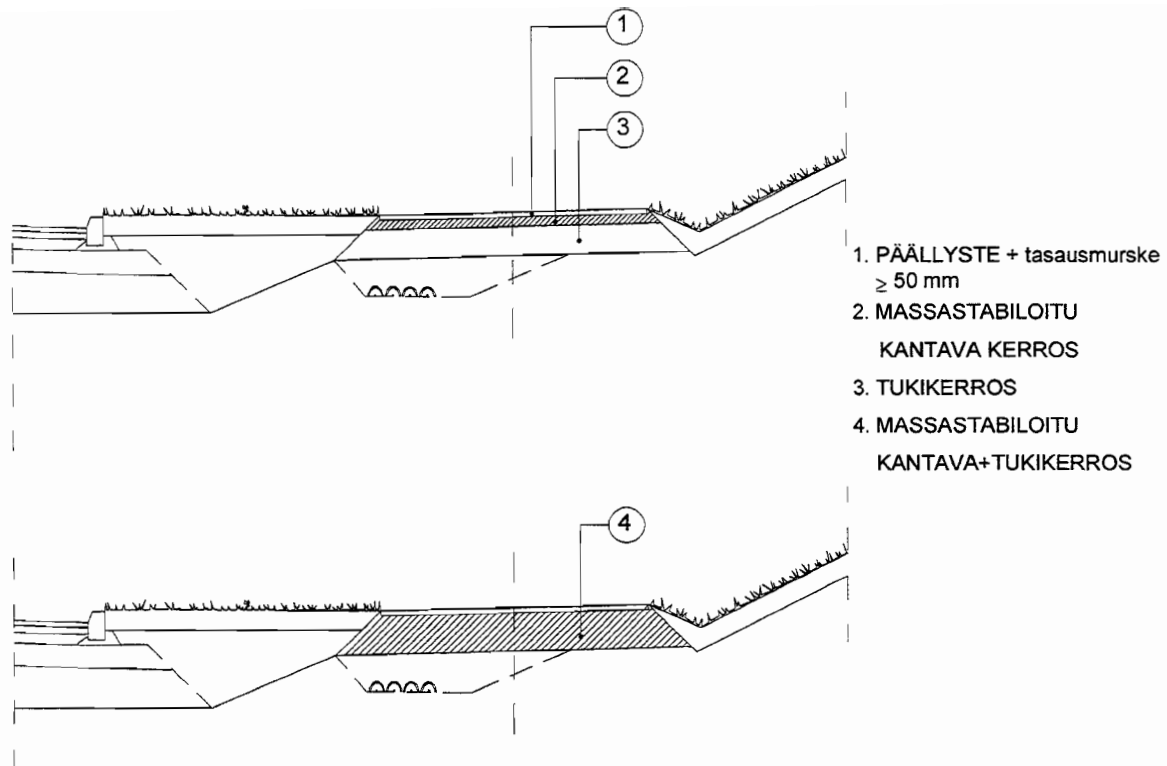
5.2.3 Raitit

Raitit ovat kevyesti kuormitettuja rakenteita, jolloin massastabiloitua savea voidaan käyttää päällysrakenteen tukikerroksen lisäksi kantavassa kerroksessa. Päällysteen ja stabiloidun kantavan kerroksen välissä on kuitenkin käytettävä vähintään 50 mm:ä paksua tasaumurskekerrosta. Kerrokset voidaan myös yhdistää. Raitit mitoitetaan kuten katurakenteet käyttäen samoja suunnittelukriteerejä.

Routivalla pohjamaalla varmistetaan stabiloidun saven riittävä routa- ja kuormituskestävyys stabiloidun savimassan riittävällä puristuslujuudella, kerrospaksuudella ja sulamis-jäätymiskestävyydellä. Teräsverkolla voidaan ehkäistä raitin päällysrakenteen routavaurioita tehokkaasti. Teräsverkot asennetaan kuten kuvassa 12.

Yleensä raittirakenteen painumakestävyys on riittävä, jolloin ylimääräistä syvästabilointia tai geovahvisteita ei tarvita.

Kuvassa 13 on esitetty massastabiloidun saven vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet ja rakennekerrokset raittirakenteissa.



Kuva 13. Massastabiloidun saven käyttö raittirakenteessa.

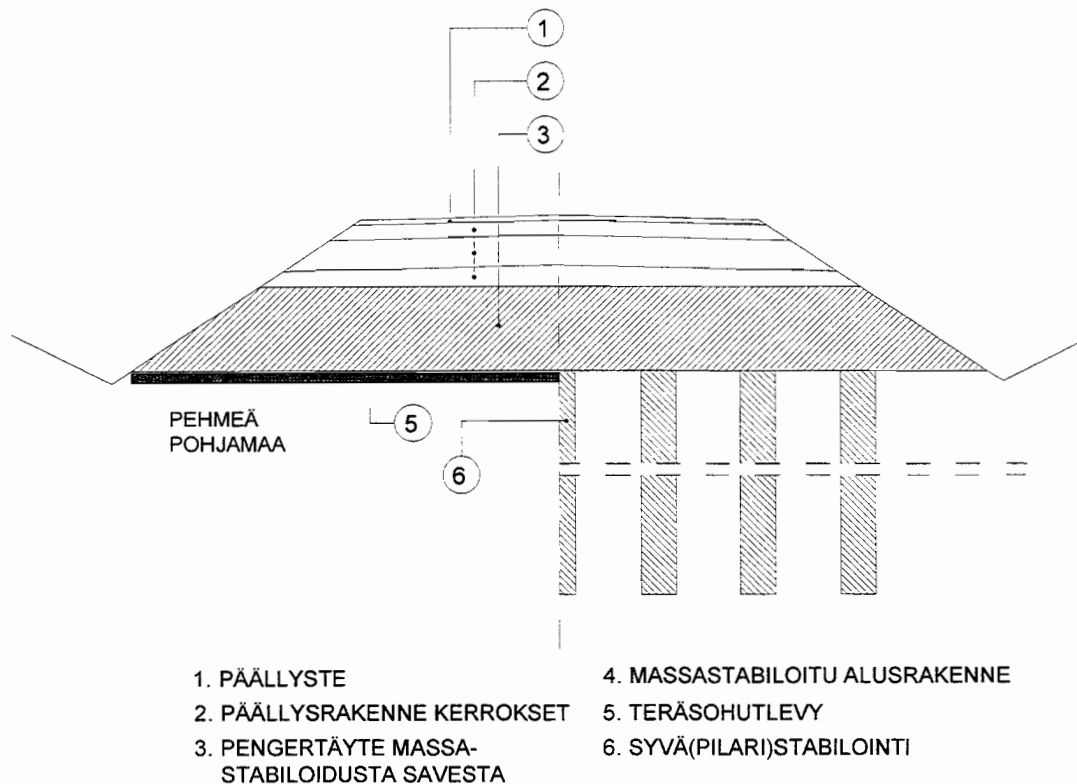
5.2.4 Katupenkereet

Kadun pengermateriaaliksi massastabiloitu savi soveltuu yleensä aina. Stabiloidulta savipenkereeltä vaadittu lujuus riippuu kadun toiminnallisesta luokasta ja toisaalta penkereen alla olevasta pohjamaasta. Yleensä lujuusvaatimus on materiaalimoduulina $E = 35 \dots 70 \text{ MPa}$.

Stabiloidun saven sisäinen lujuus korkeassa pengerrakenteessa on tärkeä, koska penkereen vakavuus riippuu siitä. Sisäinen lujuus määräytyy penkereen korkeuden ja luiskan kaltevuuden mukaan siten, että rakenteen varmuus on riittävä.

Routakestävyys ei pengerrakenteissa ole aivan niin tärkeä kuin kadun päällysrakenteissa, mutta kohteen vaatimustasosta riippuen stabiloidun savimassan sulamisjäätymiskestävyys määrätään.

Kuvassa 14 on esitetty periaatekuva stabiloidun saven käytöstä katupenkereen täytteenä. Stabiloidun kerroksen päällä on oltava $\geq 100 \text{ mm}$ sitomatonta mursketta.



Kuva 14. Katupenger stabiloidusta savesta

5.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET

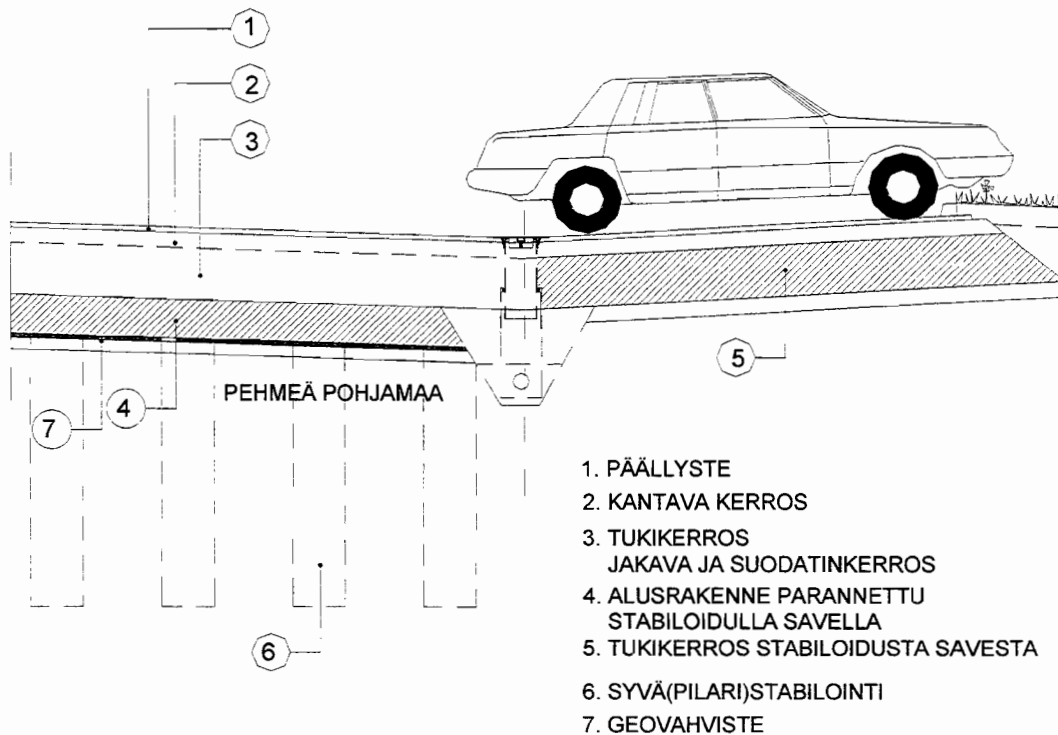
Piha- ja pysäköintialueilla massastabiloitua savea käytetään kuten katu- ja raittirakenteissa eli stabiloitu massa soveltuu sekä alusrakenteen parannusmateriaaliksi että tukikerrokseen. Kevyesti kuormitetuilla piha-alueilla stabiloitua massaa voidaan käyttää myös kantavassa kerroksessa. Piha- ja pysäköintialueilla on stabiloidun kerroksen päällä oltava ≥ 100 mm sitomatonta mursketta.

Piha- ja pysäköintialueen päällysrakenteen laatuvaatimukset sekä pohjamaan laatu määrittävät stabiloidun savimassan E-moduuliarvon sekä routakestävyyden. Painumien on pysyttävä taulukon 5 sallittuja arvoja mukaillen rakenteen vaatimustasosta riippuen.

Stabiloidun savimassan kerrospaksuudet mitoitetaan liikennekuormien ja roudan tunkeutumisvyyden mukaan, koska pysäköinti- ja piha-alueiden sallitut routanousut eivät saa ylittyä. Routanousun aiheuttamia vaurioita voidaan ehkäistä teräsverkoilla, jolloin päällysteen kestoikä kasvaa. Teräsverkojen asennuskohda on esitetty kuvassa 12.

Piha- ja pysäköintialueiden painumakestävyyttä parannetaan syvästabiloinnilla tai geovahvisteilla.

Kuvassa 15 on esitetty tyypikuva stabiloidun saven käytöstä pihapysäköintialueiden rakennekerroksissa.



Kuva 15. Stabiloidun savimassan käyttö piha- ja pysäköintialueiden rakennekerroksissa sekä painumakestävyyden parantaminen syvä(pilari)stabiloinnilla tai geovahvisteilla.

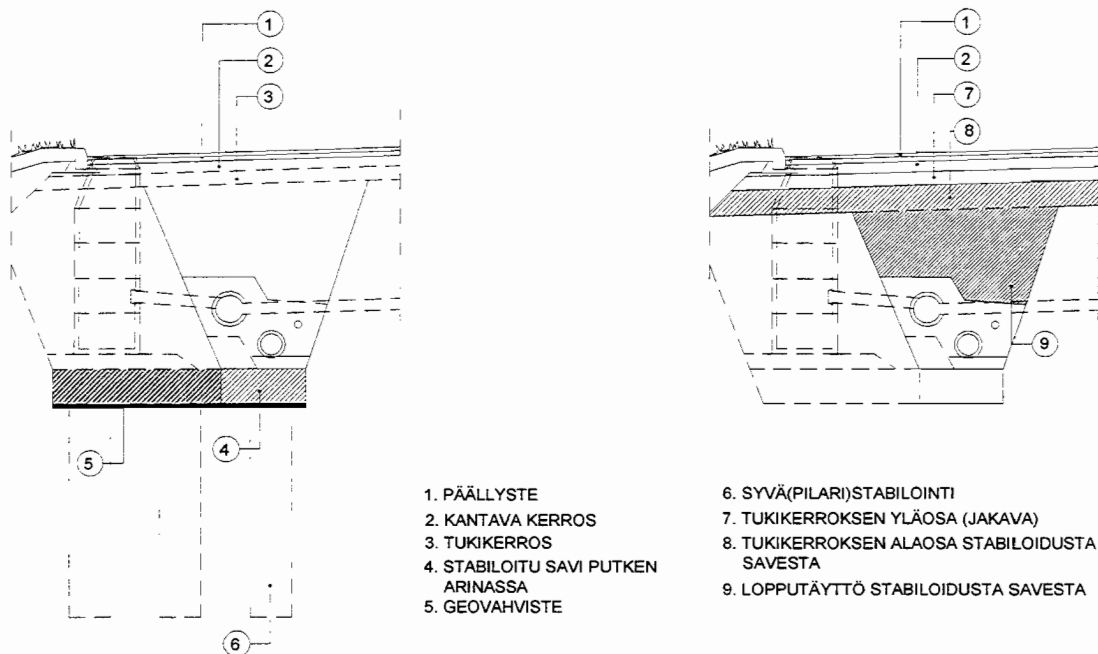
5.4 JOHTOLINJAT

Stabiloitua savimassaa voidaan käyttää sekä johtolinjojen perustuksiin että lopputäytteeksi. Lopputäytteenä käytettäessä stabiloidun massa lujuus ei saa olla liian suuri, jotta massan kaivettavuus säilyy kohtuullisena aukikaivua ajatellen. Toisaalta lopputäytteen on täytettävä kuormitus- ja routakestävyyden asettamat vaatimukset.

Johtolinjan arinassa stabiloidun saven kerrospaksuus ja lujuus mitoitetaan painumakestävyyden mukaan. Käytännössä stabiloitu savimassa on kokoonpuristumaton, joten rakenne toimii laattamaisesti kuormaa jakavana kerroksena johtolinjan alla. Mikäli stabiloitu savimassa ei riitä takaamaan johtolinjalle riittävää painumakestävyyttä, vahvistetaan rakennetta syvästabiloinnilla tai geovahvisteilla (Kuva 16).

Lopputäytteen paksuuden määrää johtolinjojen perustamissyvyys. Stabiloidun saven lujuuteen täyttömateriaalina tulee kiinnittää huomiota, jotta massan kaivettavuus säilyy ja aukikaivu on mahdollista jälkeen päin (Kuva 16). Liikennöidyillä alueilla

stabiloidun lopputäytteen päällä on oltava vähintään 100 mm:ä sitomatonta mursketta.



Kuva 16. Stabiloidun savimassan käyttö johtolinjojen arinoissa sekä lopputäytteenä. Painumakestävyyttä voidaan parantaa syvä(pilari)stabiloinnilla tai geovahvisteilla.

5.5 MELUVALLIT

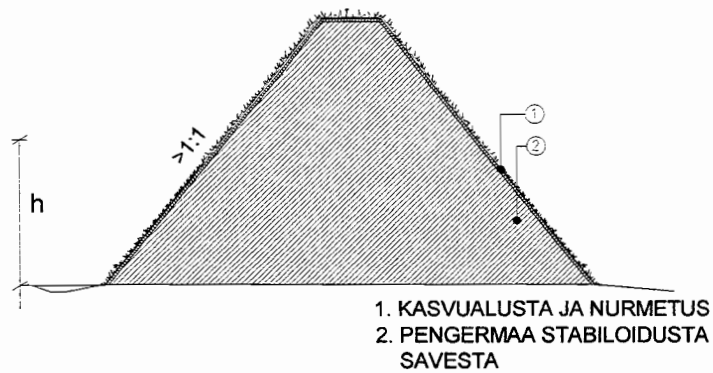
Meluvallirakenteissa massastabiloitu savi soveltuu niin alusrakenteen parannusmateriaaliksi kuin täytteeksi. Kustannusten säästämiseksi stabiloitua savea kannattaa käyttää molemmissa yhtä aikaa.

Meluvallien täytteenä stabiloidun saven sisäinen lujuus on tärkeä mitoituskriteeri, joka riippuu meluvallin korkeudesta sekä luiskien kaltevuudesta. Sisäinen lujuus määrää rakenteen vakavuuden. Mitä korkeampi ja jyrkkäluiskaisempi meluvallin rakenne on sitä suurempi stabiloidun saven sisäisen lujuuden tulee olla (Kuva 17). Luiskien vakavuutta voidaan parantaa geovahvisteiden avulla.

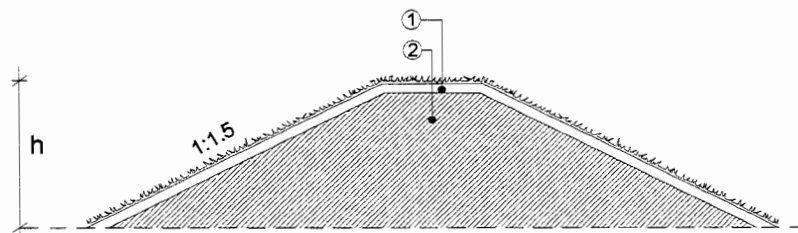
Meluvallille sallitaan suuremmat painumat kuin katurakenteille, joten usein pelkkä alusrakenteen vahvistaminen on tarpeen. Painumakestävyyttä voidaan kuitenkin erikoistapauksissa parantaa syvästabiloinnilla tai geovahvisteella (Kuva 18).

Savi ei sellaisenaan sovellu kasvualustaksi, joten tarvittavat kasvualustat ja eri kasveille tarvittavat kasvualustapaksuudet on määrättävä.

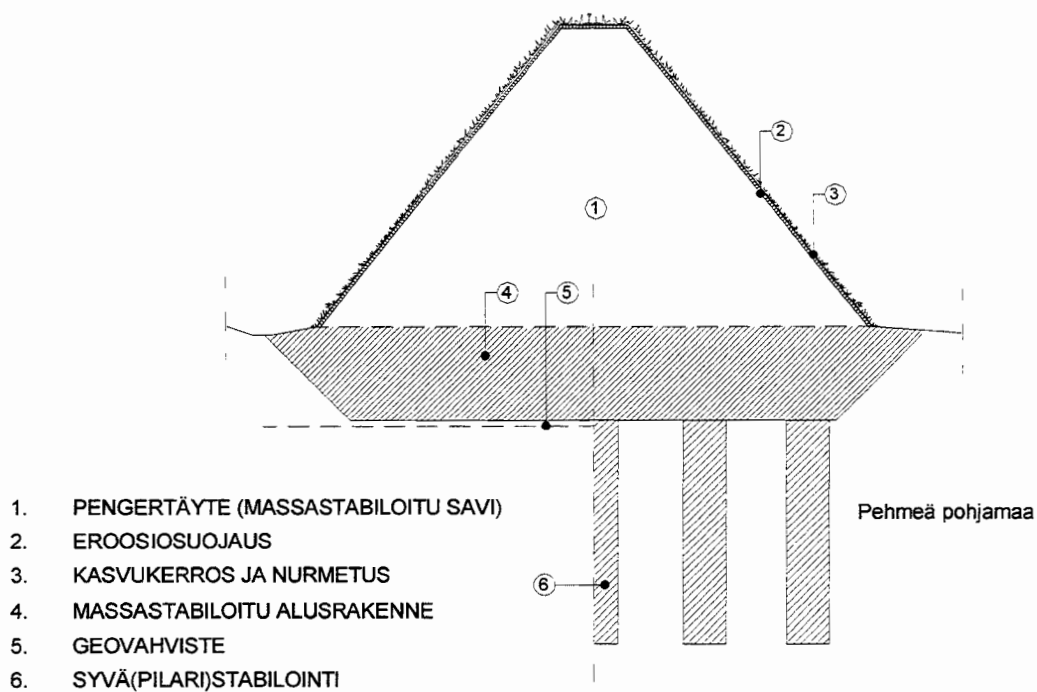
JYRKKÄLUISKAINEN MELUVALLI



LOIVALUISKAINEN MELUVALLI



Kuva 17. Stabiloidun savimassan käyttö jyrkkä- ja loivaluiskaisessa meluvallissa täytemaana.



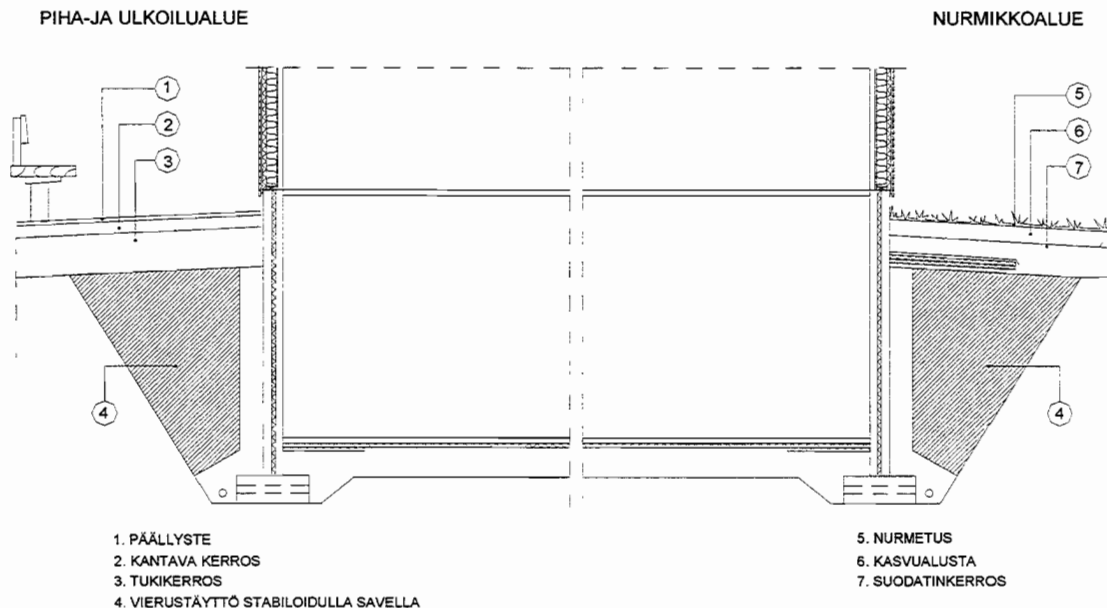
Kuva 18. Massastabiloidulla savella vahvistettu meluvalli yhdistettynä syvästabiloinnin tai geovahvisteen kanssa.

5.6 MUUT MAARAKENTEET

Stabiloitua savea kannattaa hyödyntää laajoissa ja syvissä rakennusten vierustäytöissä. Tällaisia kohteita ovat mm. kerrostalojen kellareiden vierustäytöt (Kuva 19), joihin massoja kuluu paljon.

Stabiloidun saven lujuus ja routakestävyys riippuu siitä, millaiseen paikkaan vierustäyttö tehdään, Mikäli stabiloitu alue täytyy pystyä kaivamaan auki, stabiloidun massa lujuus ei saa olla liian suuri kaivettavuuden kannalta.

Jos stabiloitua savea käytetään vierustäytössä, jonka päälle tulee esimerkiksi päällyste, täytyy stabiloidun kerroksen routimattomuus ottaa huomioon tapauskohtaisesti. Lisäksi päällysteen ja stabiloidun kerroksen väliin tulee suunnitella 50...100 mm:ä paksu sitomaton murskekerros.



Kuva 19. Stabiloidun saven käyttö rakennuksen vierustäytteenä.

6. STABILOITAVAN SAVEN MATERIAALITUTKIMUKSET

6.1 STABILOITAVA SAVI JA SEN STABILOITUVUUS

Massastabiloitavan saven ominaisuuksien selvittäminen edellyttää aina maastotutkimuksia ja maasta otettujen näytteiden analysointia laboratoriossa. Lisäksi tulee selvittää, onko samalta kaivualueelta käytettävissä aikaisemmin tehtyjen kokeiden tuloksia vastaavasta savesta. Saven alkuperä tulee selvittää myös siinäkin tapauksessa, että esimerkiksi saastuneelta alueelta peräisin oleva savi voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja.

Saven stabiiloituvuuden selvittämiseksi tehdään laboratoriossa *ennakkokokeita*. Tarvittavan sideaineen ja sideainemäärän sekä sideaineiden seossuhteiden määrittämiseksi tulisi selvittää ainakin saven rakeisuus, vesi-, humus- ja rikki-pitoisuus sekä happamuus. Esimerkiksi humus- ja rikki-pitoisuus voivat joissakin tapauksissa hidastaa tai estää lujittumisreaktioiden tapahtumista.

Stabiiloitavan kohteen vaativuudesta riippuen tutkitaan laboratoriossa lisäksi stabiloidun saven puristuslujuus, routivuus ja jäätymis-sulamiskestävyys, kantavuus ja sulamispehmeneminen, vedenläpäisevyys ja kapillaarisuus sideaineella tai sideaineyhdistelmällä koekappaleiden avulla. Näiden kokeiden perusteella saadaan tietoa myös stabiiloitavan saven lujittumisnopeudesta.

Tarkemman tiedon puuttuessa on ennakkokokeiden tekeminen laboratoriossa välttämätöntä. Tällöin tulee todellisissa olosuhteissa tapahtuvaa sekoitusta, tiivistämistä ja lujittumislämpötilaa simuloida mahdollisimman tarkasti. Maakerrosten erilaisuus on otettava huomioon tekemällä tarvittaessa rinnakkaiskokeita eri syvyydeltä otetuille savinäytteille.

Laboratoriossa tehtäviä kokeita luotettavampi tieto saadaan todellisissa olosuhteissa koerakenteista tutkimalla niiden lujittumisen kehitystä.

6.2 KÄYTETYT SIDEAINEET JA SIDEAINEYHDISTELMÄT

6.2.1 Sementti

Sementti on kokemusten perusteella ominaisuuksiltaan sideaineista tehokkaimpia ja se lujittaa myös sellaisia maalajeja, joissa kalkki (CaO) toimii huonosti. Suomessa käytetään stabiloinnin sideaineena yleensä portlandsementtiä.

Portlandklinkkeri on hydraulinen tuote, joka syntyy, kun hienoksi jauhattua mineraalista raaka-aineseosta kuumennetaan sintrautumiseen saakka. Stabiloinnissa käytetään normaalisti kovettuvia CEM II A 42,5 portlandsementtejä (SFS 3165). Suomen standardisoiomisliiton mukaan portlandsementti saa sisältää portlandklinkkeriä ja yhteensä 6...20 % seosaineita laskettuna klinkkerin ja seosaineiden yhteisestä määrästä. Silikaa saa olla vain 10 %. Seosaineina käytetään masuunikuonaa, lentotuhkaa, kalkkikiveä tai muita mineraalisia, epäorgaanisia aineita.

Saven ja sementin sekoituksessa sementtihiukkaset verhoavat savipartikkeliryhmiä ja rakenteesta muodostuu kennomainen. Reagoidessaan veden kanssa sementti muodostaa veteen liukenemattoman geelin, joka koostuu mono- ja dikalsiumsilikaattihydraateista sekä aluminaateista.

6.2.2 Poltettu kalkki

Kalkki (CaO) on edelleen yleisimmin käytetty stabiloinnin sideaine. Myös kalkin ja sementin, kalkin ja kipsin sekä kalkin ja lentotuhkan seoksia käytetään massastabiloinnissa.

Kalkin tulee olla kovaksi poltettua sammuttamatonta kalkkia ja kalkin CaO -pitoisuuden on oltava vähintään 80 %. Jos kalkin syöttö tapahtuu paineilman avulla, kalkin on oltava hienojakoista ja rakeisuudeltaan 0...0,2 mm siten, että vähintään 80 % läpäisee seulakoon 0,2 mm. Kalkin maksimiraekoon tulee olla 1 mm. Lisäksi kalkin juoksevuuden on oltava sellainen, että kalkki liikkuu säiliössä ja putkistossa hyvin. Juoksevuus voidaan määritellä 0,5 mm seulan läpäisyprosentin perusteella. Kalkin juoksevuuden tulisi tällöin olla vähintään 70 %. (SPO-91)

6.2.3 Nordkalk Terra

Nordkalk Terra-tuotteet ovat kalkkipohjaisia stabilointisideaineita. Tuotteet sisältävät pääosin poltettua jauhettua kalkkia, joka on stabiloinnin perusaine. Lisäaineina Terra-tuotteissa käytetään saven stabiloinnissa tuhkaa ja Finnstabi-tuotteita. Finnstabi on Kemira Pigments Oy:n rekisteröimä tavaramerkki, joka on koostumukseltaan pääasiassa dihydraattikipsiä.

VTT:n testaamissa Nordkalk Terra-sideaineiden koekappaleista liukenee lähinnä vain sulfaattia, jonka lähde on Finnstabi (kipsi).

6.2.4 Lentotuhka

Lentotuhka on kivihiilen poltossa voimalaitoksissa syntyvä potsolaaninen materiaali, joka on erotettu savukaasuista. Potsolaanisella materiaalilla tarkoitetaan ainetta, joka kalsiumhydroksidin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kanssa reagoidessaan muodostaa sementtikiven kaltaisia pysyviä reaktiotuotteita. Lentotuhka vastaa rakeisuudeltaan silttiä.

Tuhkapartikkelit koostuvat suurimmaksi osaksi lasittuneista mineraaleista muun osan ollessa huokoista, kiteistä ainesta. Pääaineiksina lentotuhkassa ovat piioksidi, alumiinioksidi ja rautaoksidi. Lisäksi mukana on pienempiä määriä kalsium- ja magnesiumoksidia, rikkiatrioksidia sekä muita yhdisteitä. Tuhkan ominaisuuksiin vaikuttaa olennaisesti kivihiilityyppi, polttotekniikka ja tulipesän kunto.

Lentotuhkan käyttö sideaineena kunnallistekniikan kohteissa kuten metalliputki-kaivantojen arinoissa ja lopputätyöissä ei ole suotavaa, koska ainakin Helsingin Energian lentotuhkalla on havaittu olevan korrosoivia ominaisuuksia.

6.2.5 Rikinpoiston lopputuote

Rikinpoiston lopputuote on yleensä peräisin energialaitosten savukaasujen puhdistamisessa käytettävästä puolikuivasta rikinpoistomenetelmästä, jossa savukaasuihin ruiskutetaan kalkkilietettä pieninä pisaroina. Lietteessä oleva vesi haihtuu ja savukaasuissa oleva SO_4 reagoi alkalisen kalkin kanssa. Lopputuote erotetaan savukaasuista pölyerottimella.

Rikinpoiston lopputuote on kuiva, jauhemainen aine, joka sisältää pääasiassa lentotuhkaa, kalsiumsulfaattia, kalsiumhydroksidia ja kalsiumkloridia. Lopputuotteen

koostumus vaihtelee erästä toiseen riippuen poltetun hiilen koostumuksesta, poltto- ja rikinpoistoprosessien säädöistä ja kalkin tarjonnasta.

Kalsiumsulfaatti reagoi veden ja saven aluminaattien kanssa muodostaen ettringiittiä, jonka neulasmainen kidemuoto antaa savelle fyysistä stabilisuutta ja joka sitoo merkittävän määrän vettä.

Typpihappouuton tulokset ovat osoittaneet, että rikinpoiston lopputuotetta sisältävien sideaineiden käyttäminen ei lisää saven fosforipitoisuutta eikä tutkittujen raskasmetallien kokonaispitoisuuksia.

6.2.6 Masuunikuona

Masuunikuona syntyy raudanvalmistuksessa, kun emäksinen silikaattisulate jäähdytetään. Masuunikuonalla on piilevät hydrauliset ominaisuudet, mikä tarkoittaa aineen kykyä muuttua hydrauliseksi heräteaineiden, kuten sementin vaikutuksesta. Tämän vuoksi masuunikuonaa voidaan käyttää rakennussementin seosaineena.

Masuunikuonaa esiintyy kolmessa muodossa, joilla on erilaiset piilevät hydrauliset ominaisuudet. Granuloidulla kuonalla on hyvät piilevät hydrauliset ominaisuudet ja pelletoidulla kuonalla jonkin verran heikommat. Ilmajäähdytetyn kuonan piilevät hydrauliset ominaisuudet ovat huonot.

Masuunikuonan stabiloiva vaikutus perustuu:

- hydratoituvien kalsiumionien aiheuttamaan savipartikkelien koaguloitumiseen
- silikaatti- ja alumiiniyhdisteiden kalsiumionien kanssa muodostamaan, sementoi-vaan geeliin.

Masuunikuona voi sisältää runsaasti helppoliukoista kuparia. Masuunikuonalle tehdyissä kokeissa kuparin liukoisuusindeksi on ollut yli kaksinkertainen verrattuna muihin sideaineisiin.

6.2.7 Kipsi

Kipsi on lannoiteteollisuudessa syntyvä jätetuote, joka suurimmaksi osaksi koostuu kalsiumsulfaateista. Kipsiä on käytetty rohkaisevin tuloksin *humuspitoisen* saven syvästabilointiin yhdessä kalkin kanssa, minkä perusteella sen käyttö samanlaisissa olosuhteissa on mahdollista myös massastabiloinnissa.

Lannoiteteollisuuden jätekipsissä kipsi on dihydraattimuodossa, joka reagoi veden ja saven kanssa muodostaen rikinpoiston lopputuotteen tapaan ettringiittiä, jonka neulasmainen kidemuoto antaa savelle fyysistä stabilisuutta ja joka sitoo merkittävän määrän vettä.

6.2.8 Sideaineyhdistelmät

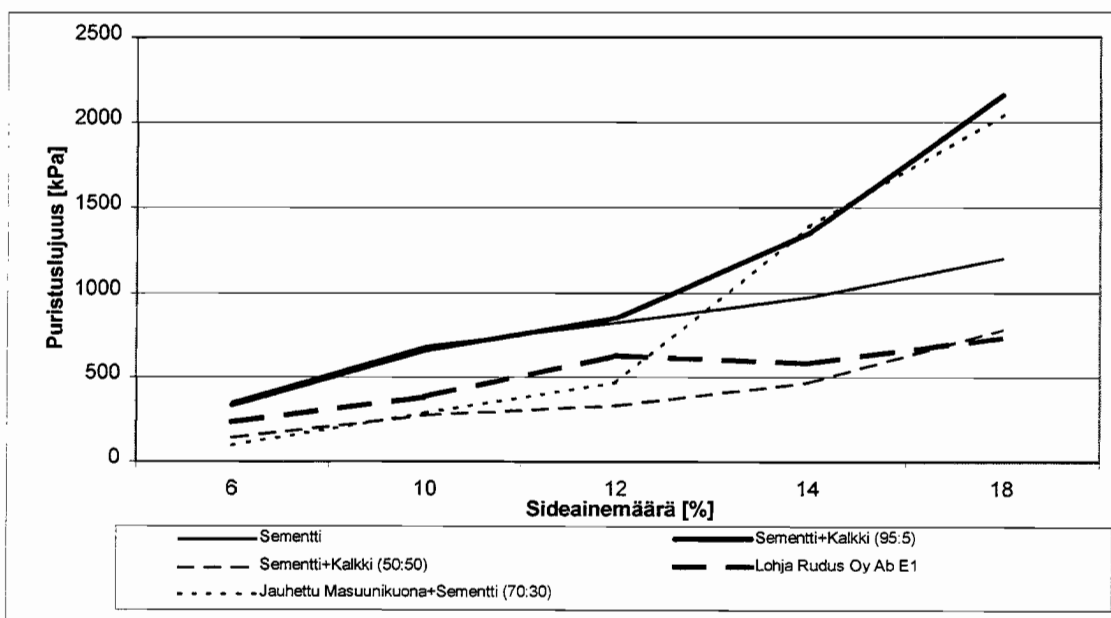
Saven stabiloinnissa käytetään useimmiten joko teollisten sideaineiden seoksia tai niitä täydentävinä teollisuuden sivutuotteita kuten lentotuhkaa ja rikinpoiston loppu- tuotetta tai masuunikuonaa. Yhdistelmissä on yleensä aina sementtiä tai poltettua kalkkia tai molempia.

Sideaineyhdistelmien seossuhteita vaihtelemalla voidaan saada stabiloidulle rakenteelle erilaisia ominaisuuksia. Seossuhteet on kuitenkin aina selvitettävä ennakkokokeiden avulla laboratoriotutkimuksin sillä laajuudella, kun kohteen vaatimustaso sitä vaatii.

6.3 ERI SIDEAINEILLA SAAVUTETTAVAT PURISTUSLUJUUDET

Stabiloidun saven puristuslujuus riippuu käytettävästä sideaineesta, sen määrästä suhteessa saven massaan sekä sideainesekoituksilla seossuhteesta. Stabiloitavan saven ominaisuudet vaikuttavat lähes yhtä paljon saavutettavaan leikkauslujuuteen kuin sideaineet. Saven mineraalikoostumus, humuspitoisuus, happamuus, sulfaatti- ja vesipitoisuus vaikuttavat stabiloitavuuteen ja sitä kautta leikkauslujuuteen. Eri sideaineilla ja sideainemäärillä (paino-%/savi- m^3) saavutettavat puristuslujuudet on esitetty kuvassa 20.

Lujuudet ja sideainemäärät perustuvat Viikin koerakenteen ennakkokokeisiin ja niitä on pidettävä hyvin ohjeellisina. Stabiloitavan kohteen suunnittelu vaatii aina ennakkokokeiden suorittamista ennen rakentamista. Varsinkin vaativissa kohteissa on tutkittava stabiloidun saven puristuslujuus jäädytys-sulatuskokeiden jälkeen, koska tehdyissä laboratorioskokeissa stabiloitujen koekappaleiden puristuslujuudet jäädytys-sulatuskokeiden jälkeen ovat olleet hyvin alhaisia. Erityisesti katurakenteissa stabiloidun massan routakestävyyteen on kiinnitettävä suurta huomiota.



Kuva 20. Eri sideaineilla ja sideainemäärillä laboratoriossa saavutetut puristuslujuudet.

6.4 SIDEAINEIDEN ALUSTAVA VALINTA

Sideaineiden valintaan vaikuttaa stabiloitavan rakenteen lujuusvaatimus, ympäristökelpoisuusvaatimukset sekä sideaineiden saatavuus. Mitä suurempi on stabiloinnin lujuusvaatimus sitä enemmän yleensä tarvitaan kalliimpia sideaineita kuten sementtiä. Toisaalta stabiloitavan kohteen ollessa toisarvoinen voidaan teollisuuden sivutuotteiden osuutta kasvattaa, jolloin sideaineiden kustannusosuus pienenee. Aina ei myöskään ole saatavilla vuodenaikasta riippuen teollisuuden sivutuotteita. Ympäristöllisesti vaativilla alueilla kuten pohjavesialueiden läheisyydessä tulee sideaineiden ympäristökelpoisuus osoittaa laboratorionkokein. Taulukossa 8 on vertailtu eri sideaineiden soveltuvuutta ylijäämäsavien stabilointiin.

Taulukko 8. Sideaineiden vertailu ja niiden soveltuvuus erilaisiin stabiloitaviin maarakenteisiin.

Sideainel-yhdistelmät	Sideaineen ominaisuuksia
Sementti	• Pitkään käytetty sideaine, jonka ominaisuudet tunnetaan hyvin. • Soveltuu vaativiin kohteisiin. • Stabiloii savilajeja, joihin kalkki ei sovellu. • Useimmissa sideaineyhdistelmissä käytössä.
Nordkalk Terra	• Käytetty pitkään syvästabiloinnissa, joten lujittumisominaisuudet ovat melko hyvin tiedossa. • Kalkki muuttaa savea paremmin useimpia raskasmetalleja sitovaan muotoon. • Yleensä käytössä sideaineyhdistelmissä.
Kalkki-sementti	• Sopii useimmille saviille • Seossuhde määritettävä
Lohja Rudus Oy Ab E1...En	• Sideaineyhdistelmä selvitetään esikokeilla • Sideaineen saatavuus tarkistetaan ennen työtä
Masuunikuona	• Ei sovellu yksinään sideaineeksi vaan vaatii sementin mukanaoloa. • Lujittuminen tapahtuu hitaasti
Rikinpoiston lopputuote	• Saattaa sisältää korrosoivia aineita • Halpa sideaine perinteisiin verrattuna
Kipsi	• Halpa sideaine perinteisiin verrattuna •
Lentotuhka	• Halpa sideaine verrattuna perinteisesti käytettyihin • Ei aina saatavilla • Lentotuhkalla on korrosoivia ominaisuuksia
Sideaineyhdistelmät	• Lisäämällä halpojen sideaineiden osuutta saadaan stabiloinnin kustannuksia alennettua. • Eri sideaineseosten oikean suhteen ja stabiloituvuuden löytäminen voi olla työlästä.

6.5 MAASTOTUTKIMUKSET

Maastotutkimuksissa keskitytään hankkimaan stabiloitavaksi tarkoitettusta savesta sellaista tietoa, millä voi olla vaikutusta stabiloituvuuteen. Tarvittavia tietoja ovat

- savityypin vaihtelu eri syvyyksillä ja alueittain
- saven vesipitoisuus
- savessa mahdollisesti olevat saastuneet aineet.

Tarpeeksi kattavien tulosten varmistamiseksi tutkimukset on tehtävä riittävän monelta eri syvyydeltä. Kairaustiheys määräytyy alueen laajuuden ja kohteen vaativuuden mukaan. Tutkimusten laajuus ja tarkkuus riippuu siitä, mihin käyttöön stabiloitava savi tulee eli kuinka tarkkaan saven ominaisuudet täytyy tietää ennen stabiloinnin aloittamista.

Stabilointiin käytettävästä savesta riittää yleensä häiriintymättömät näytteet. Stabiloitokokeita varten tarvittava näytemäärä on n. 5 kg yhdeltä syvyydeltä.

6.6 LABORATORIOTUTKIMUKSET

6.6.1 Tutkimusten tarkoitus

Laboratoriokokeilla selvitetään saven stabiloituvuus sekä tarvittaessa tutkitaan eri sideaineiden käyttömahdollisuus. Stabiloituvuuskokeet tehdään yleensä eri sideaineilla ja sideainepitoisuuksilla sekä seossuhteilla. Riippuen stabiloitavan saven käyttökohteesta ja saatavilla olevista sideaineista valitaan tarkoituksen mukaisin sideaine(et) ja seossuhde sekä sideainepitoisuus.

Sideaineiden ja sideaineseosten laadun varmennuksen löytyy standarditutkimusmenettelyjä. Sideaineiden laatututkimusmenettely on kuvattu syvästabiloinnin laadunvalvontaohjeessa (STO-91).

Stabilointiin käytettävän saven alustava stabiloituvuus arvioidaan laboratoriossa eri ohjeiden ja standardien mukaan tehtävillä kokeilla. Savelle tehtäviä kokeita ovat mm. vesipitoisuus, rakeisuus, tarvittaessa konsistenssirajat (plastisuus- l. kieritysraja, juoksuraja), humuspitoisuus, pH-arvo l. happamuus, (kokonais-) rikkipitoisuus ja sulfaattipitoisuus

6.6.2 Humuspitoisuus

Maa, joka sisältää paljon humusta, saattaa stabiloitua huonosti happamuutensa takia. Kalkin lisääminen muuttaa kuitenkin maan happamuutta edullisempaan suuntaan, ts. emäksisemmäksi. Geotekninen maaluokitus [GLO-85, 1985] luokittelee maalajin liejuiseksi (saveksi), jos humuspitoisuus on 2...6 % ja (saviseksi) liejuksi, jos humuspitoisuus on 6...20 % kuivapainosta laskettuna. Lujittumisen kannalta ongelmia voi aiheuttaa yli 10 % humuspitoisuus.

6.6.3 Rikkipitoisuus

Rikkipitoisuus heikentää kalkkistabiloidun saven lujittumista, jos pitoisuus ylittää 0,3 % tai sulfaattipitoisuus 0,06 %. Tarkemmin ei ole pystytty selvittämään, mistä rikin yhdisteestä on stabiloinnille eniten haittaa.

6.6.4 Vesipitoisuus

Stabiloituvuuden edellytyksenä on, että stabiloitavassa savessa on riittävästi vettä, jotta lujittumisreaktiot voivat tapahtua. Saven stabiloinnissa vettä on yleensä riittävästi, mutta jos seassa on esimerkiksi kuivaa hiekkaa, on vedenlisäyksestä tarvittaessa huolehdittava. Toisaalta on huolehdittava, ettei massa stabiloinnin aikana tai varastoinnissa pääse kastumaan tai kuivumaan liikaa.

6.6.5 Lämpötila

Tärkeä saven lujittumiseen vaikuttava tekijä on lämpötila. Laboratorio-olosuhteissa on todettu, että kylmäsäilytyksessä pidetyille koekappaleille on saatu oleellisesti huonompia lujuustuloksia kuin näytteille, jotka on säilytetty huonelämpötilaa vastaavissa olosuhteissa. Kylmänä vuodenaikana lujittumisreaktiot hidastuvat ja massan jäätyessä keskeytyvät.

6.6.6 Stabiloitujen koekappaleiden tutkimukset

Koekappaleita valmistetaan eri sideaineilla ja sideaineyhdistelmillä sekä seossuhteilla. Sideaineen määrä määritetään yleensä painoprosenttina saven massaa tai kuutiota kohden (sideaine-kg/savi-t tai sideaine-kg/savi-m³).

Stabiloiduille koekappaleille tehdään rakennuskohteen vaativuudesta riippuen erilaisia kokeita. Puristuskoe on yleisin käytetty menetelmä ja sopii hyvin karsimaan kaikkien epätodennäköisimmät sideainevaihtoehdot pois. Kun halutaan tutkia stabiloidun massan tiettyjä ominaisuuksia, kuten routivuutta tai kantavuutta, on koeohjelmaa laajennettava. Taulukossa 9 on esitetty karkea jaottelu niihin tarvittaviin kokeisiin, joita eri tyyppiset maarakenteet vaativat.

Taulukko 9. Stabiloidulla savella tehtyjen maarakenteiden vaatimat laboratoriokokeet karkeasti jaoteltuna.

	Alusrakenteen parantaminen	Katupenke-reet	Kadun päälysrakenteet	Pysäköinti- ja piha-alueet	Johtolinjat	Meluvallit	Piha- ja maisemointit	Rakennusten vierus- ja alustat
Yksiaks. Puristuskoe	X	X	X	X	X	X	X	X
Kolmiaksiaali-koe	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Routanousukoe	(X)	(X)	X	(X)	(X) ¹⁾			X
Jäätymis-sulamiskoe	(X)	(X)	X	(X)	(X) ¹⁾			(X)
Lämmönjoh-tavuus	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)			
Ödometrikoe	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)			
CBR-kantavuuskoe	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)			(X)
Dynaaminen kolmiaks.koe	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)			
Vedenlä-päisevyys	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾			X ²⁾
Kapillaarisuus	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾	X ²⁾			X ²⁾

(X) Tehdään kohteen vaativuudesta riippuen.

1) Tehdään, kun kysymyksessä lopputäyttö.

2) Tehdään, jos rakenne on roudalle alttiilla alueella.

6.7 KOESTABILOINTI MAASTOSSA JA TUTKIMUKSET

Koestabiloinnilla selvitetään saven stabiiloituvuus maasto-olosuhteissa. Maastokokeilla saadaan laboratoriokokeita luotettavimmin selville lujuuden kehittyminen ja lujuustaso. Koerakenteen teko on suotavaa aina vaativissa kohteissa varsinkin, jos ei ole kokemusta vastaavista rakenteista tai olosuhteista.

Jos pohjasuhteet vaihtelevat rakennettavalla alueella huomattavasti, on syytä tehdä koestabilointi useammassa paikassa. Myös eri sideaineilla stabiloidulla savella voidaan tehdä eri koerakenteita. Kenttätutkimuksissa voidaan tutkia mm:

- lujittumisreaktioiden etenemistä lämpötilamittauksin
- lujuuden kehitystä kairauksin, esimerkiksi CPT- ja siipikairaus
- kantavuutta levykuormituskokein ja pudotuspainolaitteella

7. RAKENTEIDEN MITOITUS

7.1 YLEISTÄ

Stabiloitu savi soveltuu useisiin maarakennuksen käyttökohteisiin, kuten tämän julkaisun kohdassa 3 on esitetty. Eri tapauksissa painotetaan materiaalin eri ominaisuuksia riippuen rakennettavan kohteen tyypistä ja vaatimustasosta. Tällöin on tunnettava stabiloidun saven leikkaus-/puristuslujuus, E-moduuli ja kokoonpuristumaparametrit, routivuus, vedenläpäisevyys sekä luiskien vakavuuteen liittyvät laskentaparametrit.

Näissä mitoitusohjeissa pääpaino on katurakenteiden mitoituksessa ja katusuunnittelun vaatimuksissa, koska katurakenteilla vaatimustaso on em. maarakenteista korkein. Samoja laskentaparametrejä voidaan soveltaa muihin alemman vaatimustason maarakenteisiin kuten esimerkiksi meluvalleihin.

7.2 KATURAKENTEET

7.2.1 Painumamitoitus

Massastabiloidun savikerroksen kokoonpuristuminen kadun päällysrakennekerroksissa tapahtuvat jo rakentamisen aikana, jolloin näitä painumia ei tarvitse huomioida. Katupenkereissä ja paksuissa alusrakenteen parannuskerroksissa stabiloitu savikerros ($H > 1,0$ m) voidaan olettaa yhtenäiseksi lineaariseksi kimmoplastiseksi maakerrokseksi. Massastabiloinnin sekoittamiseen ja sideaineen tasaiseen levitykseen liittyvät epävarmuudet on otettava huomioon mitoituksessa. Mitoituksessa huomioidaan, ettei myötöjännitystä tietyllä varmuudella ylitetä, jolloin painumat voidaan laskea kaavalla 2. Kokoonpuristuvuusmoduulin likimääräisenä arvona voi käyttää 50...100•leikkauslujuutta (Syvästabiloinnin mitoitusohje, 1997).

$$S_{stab} = \frac{H \cdot q}{E_{stab}} \quad (2)$$

missä	S_{stab}	massastabiloidun kerroksen kokoonpuristuma
	H	massastabiloidun kerroksen paksuus
	q	pintakuorma
	E_{stab}	stabiloidun pohjamaan kokoonpuristuvuusmoduuli

Stabiloidun saven leikkauslujuus saadaan yksiakselialisen puristuskokeen tuloksesta kaavalla 3 (Syvästabiloinnin mitoitusohje, 1997).

$$\tau = \frac{\sigma}{2} \quad (3)$$

missä τ = leikkauslujuus [kPa]
 σ = yksiakselialinen puristuslujuus [kPa]

Eri paksuisten stabiloitujen kerrosten kokoonpuristumat ovat merkityksettömiä käyttötilassa. Massastabiloinnin alle jäävien kokoonpuristuvien maakerrosten painumat lasketaan normaalina konsolidaatiopainumalaskelmana. Stabiloidun saven tilavuuspainona käytetään arvoa 18 kN/m³.

7.2.2 Routakestävyysmitoitus

Katurakenteen routakestävyys varmistetaan rakenteen riittävällä jäätymissulamiskestävyydellä ja alusrakenteen sekä stabiloidun kerroksen routimattomuudella tai sallitulla routivuudella.

Kadun alusrakenteen routamitoitus perustuu mitoittavaan pakkasmäärään ja materiaalin routimisominaisuuksiin. Mitoittavana pakkasmääränä käytetään joko F_5 , F_{10} tai F_{20} (Kuva 8). Katurakenteiden kerrokset mitoitetaan ensin jäätymissulamiskestävyydelle. Jos kantavuusmitoituksessa rakennekerrokset jäävät ohuemmiksi kuin routamitoituksessa, lisätään tarvittaessa suodatinkerroksen paksuutta routamitoitusta vastaavalla kerrospaksuudella.

Routamitoituksessa on tunnettava alusrakenteen routivuusluokka, joka arvioidaan taulukon 7 mukaisesti maalajin mukaan. Katurakenne voidaan routasuojata, jolloin on mahdollista käyttää pienempiä kerrospaksuuksia. Routasuojasta on käsitelty yksityiskohtaisesti KATU-90, 1991 ohjeissa

7.2.3 Kuormituskestävyysmitoitus

Katurakenteiden kantavuus mitoitetaan yleensä ruotsalaisen Odemark:n analyttiseen mitoitusmenetelmään perustuen, jonka laskelmat perustuvat yhtälöön

$$E_Y = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \left(\frac{h}{0.15m}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \left(\frac{h}{0.15m}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}$$

missä
 E_Y = mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus
 E_A = mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus
 h = mitoitettavan kerroksen paksuus
 E = mitoitettavassa kerroksessa käytettävän materiaalin E-moduuli

Lisäehto 1: Sitomattoman kerroksen käyttökelpoinen E on enintään $6 \cdot E_A$
 Lisäehto 2: Yhteen liimautuneet ehjät bitumilla sidotut ($E \geq 1500 \text{ MN/m}^2$) kerrokset lasketaan yhtenä kerroksena

Mitoitusmenetelmä edellyttää tietoa pohjamaan kantavuudesta ja käytettävien päällysrakennemateriaalien sisäisistä kimmomoduuliarvoista (E-moduuli). Katurakenteelta vaadittava kantavuus (E_2) katuluokasta riippuen Katu-90 ohjeiden mukaan on esitetty taulukossa 3. Katurakenteissa normaalisti käytettävien materiaalien kimmomoduulit on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Materiaalien kimmomoduuliarvoja.

Materiaali	E-moduuli [MN/m ²]
Asfalttibetoni (AB)	2500
Bitumisora (Bs)	2500
Kevytasfalttibetoni	1500
Kantavan kerroksen murske	300 (200...350)
Stabiloitu kantava murske	2000...2500
Jakava sora	200 (150...280)
Suodatinhiekkä	70 (30...100)
Stabiloitu savi	20...35

Eri päällysrakennekerrosten pienimmät sallitut keskimääräiset kantavuusarvot (E_2) on esitetty taulukossa 2. Pienimmät sallitut yksittäiset kantavuusarvot saavat poiketa niistä 30 %. Kantavuusarvojen suhde E_2/E_1 saa olla enintään 2,2 paitsi silloin kun E_1 -arvo on jo vähintään 50 % vaadittavasta E_2 -arvosta. Parannetun Proctor-kokeen mukaiset tiiviysvaatimukset ovat eri rakennekerroksille seuraavat:

- pengertäyte 90 %
- suodatinkerros 95 %
- jakava kerros 95 %
- kantava kerros 97 %

Viikin savikatuprojektissa todettiin talvikausien löyhdyttävän stabiloidun rakenteen päällä olevaa sitomatonta kantavaa kerrosta. Ilmiön aiheutti kantavaan kerrokseen pidähtynyt liiallinen vesi, joka jäätyni ja sulii talven aikana useamman kerran ja näin voimisti löyhtymistä. Veden suodautumista kantavaan kerrokseen lisäsi myös ohut päällyste, joka vasta lopullisessa päällystyksessä saa tiiviimmän pinnan. Löyhtymistä

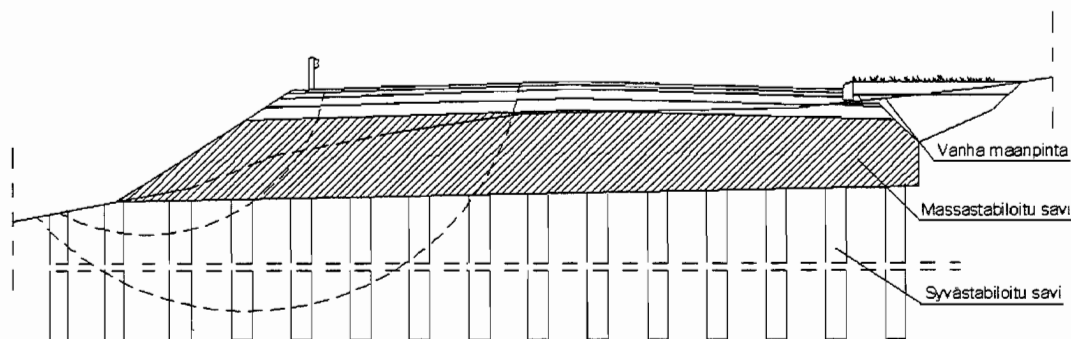
voidaan pitää riskinä rakenteen kestoikää ajatellen, joskin asian varmistaminen edellyttää rakenteen seuraamista vielä joitakin vuosia.

7.2.4 Katupenkereen luiskien vakavuus

Stabiloidusta savesta rakennetun katupenkereen luiskan sisäinen vakavuus ei tule määrääväksi heikosti kantaville pohjamaille rakennettaessa. Tärkeämpää onkin tarkistaa koko rakenteen toimivuus perinteisiä vakavuuslaskelmia käyttäen.

Stabiloidun saven leikkauslujuus saadaan puristuslujuuden avulla kaavalla 3. Lisäksi on tunnettava alusrakenteen ja pengerrakenteen sekä päällysrakennekerrosten tilavuuspainot sekä mahdolliset ulkoiset kuormat. Stabiloidusta savesta rakennetun katupenkereen vakavuuden kokonaisvarmuuskertoimenä käytetään 2,0 massan mahdollisen epähomogeenisuuden takia.

Kuvassa 21 on esitetty tapaus, jossa mahdollinen liukupinta voi syntyä katurakenteissa. Kaltevaan maastoon tehdyn kadun luiskakaltevuus ja pengerkorkeus on tällöin otettava huomioon yhdessä stabiloidun saven leikkauslujuuden kanssa.



Kuva 21. Kadun pengerrakenne, jossa mahdollinen liukupintatarkastelu on otettava mitoituksessa huomioon.

7.3 PIHA- JA PYSÄKÖINTIALUEET

Piha- ja pysäköintialueilla alusrakenteen painumien laskenta suoritetaan kuten kohdassa 8.2.1 katurakenteille on esitetty. Painumalaskelmien tarve riippuu pihan laatu-luokasta.

Routakestävyysmitoitus tehdään katurakenteiden mitoituksen mukaan ja sallittuja routanousuja (Taulukko 6) noudattaen.

Kuormituskestävyys tarkistetaan katuluokkien 5 ja 6 mukaan.

7.4 JOHTOLINJAT

Johtolinjojen perustusten painumat mitoitetaan kuten kohdassa 8.2.1 on esitetty sen mukaan, millainen pohjamaa on. Putkien sallitut painumat eivät saa vioittaa johtoja eikä haitata viettoviemäreiden toimintaa.

Routamitoitusta ei yleensä tarvita johtolinjojen perustuksia suunniteltaessa, koska johtolinjat perustetaan routarajan alapuolelle. Lopputäytössä stabiloidulta savelta edellytetään riittävää routakestävyyttä. Routasuojauksen tarkistetaan laskemalla kadun päällysrakenteen paksuus ja vertaamalla onko paksuus riittävä, kun stabiloidun sa-ven routivuus tiedetään.

Stabiloidun saven on täytettävä sille asetetut kantavuusvaatimukset ja kadun päällysrakenteet mitoitetaan stabiloidun kerroksen E-moduulin mukaan.

7.5 MELUVALLIT

Meluvallien painumat lasketaan kuten kohdassa 8.2.1 on esitetty. Jos meluvallin täyt-
tömateriaalina on stabiloitu savi, voidaan saven tilavuuspainona käyttää 18 kN/m^3 .

Meluvallissa sallitaan yleensä routiminen ja näin ollen niitä ei tarvitse mitoittaa rou-
takestävyydelle. Kuormituskestävyyden määrää meluvallin korkeus ja luiskan kalte-
vuus. Kuormituskestävyys mitoitetaan kohdan 8.2.3.

Meluvallien luiskan vakavuus on tarkistettava tapauskohtaisesti luiskakaltevuuden ja penkereen korkeuden mukaan. Vaarallisimman luiskapinnan määräytyminen riippuu meluvallin alla olevasta pohjamaan laadusta ja paksuudesta sekä mahdollisista po-
hamaan vahvistustoimenpiteistä.

Kuvassa 22 (A) on esitetty vaarallisimman luiskapinnan syntyminen meluvallin alle, jos pohjamaa on hyvin pehmeä ja kerrospaksuus suuri. Tämä tapaus on aina tutkittava ja suunniteltava erikseen perinteisiä vakavuuslaskelmia käyttäen. Toinen liukupinta kohdassa A (Kuva 22) kuvaa stabiloidusta savesta tehdyn meluvallin sisäisen liukupinnan muodostumista, mikä riippuu luiskakaltevuudesta ja penkereen korkeudesta sekä stabiloidun saven leikkauslujuudesta.

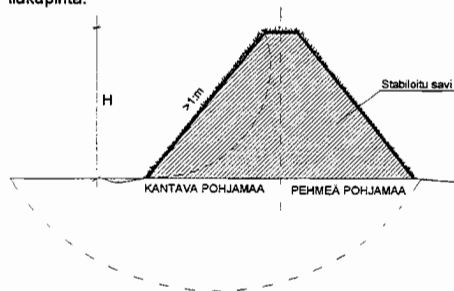
Taulukossa 11 on esitetty stabiloidulta savelta vaadittava leikkauslujuus eri luiskakal-tevuuksilla ja pengerkorkeuksilla, kun liukupinnan oletetaan muodostuvan penkereen sisään. Lisäksi rakenteen päällä on oletettu työskentelevän työkone (kaivukone, 200 kN), joka työskentelee 1,0 metrin päässä luiskan reunasta. Liukupinta syntyy meluvallin sisään, kun pohjamaa on kantava eli sen leikkauslujuus on suurempi kuin stabiloidun saven. Stabiloidun saven vaadittavat leikkauslujuudet ovat kohtuullisen alhaiset ja helposti saavutettavissa.

Kuvassa 22 (B) on esitetty stabiloidun meluvallin perustaminen massastabiloidulle savelle, jolloin vaarallisin liukupinta voi syntyä stabiloidusta savesta tehdyn meluvallin sisälle, massastabiloidun savikerroksen kautta tai kaikkein todennäköisimmin pehmeän pohjamaan kautta. Meluvallin vakavuuslaskelmat tulee aina suorittaa perinteisiä laskumenetelmiä noudattaen ja laskelmissa on huomioitava eri rakennekerrosten kautta mahdollisesti syntyvät liukupinnat.

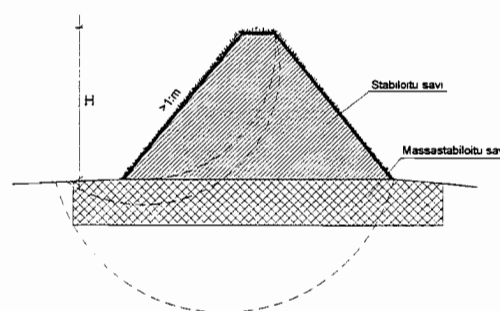
Taulukko 11. Meluvallin täytteenä käytettävältä stabiloidulta savelta vaadittava leikkauslujuus [kPa], kun meluvalli on perustettu kantavalle pohjamaalle ja liukupintojen oletetaan muodostuvan meluvallin sisään. Meluvallirakenteen päällä oletetaan työskentelevän kaivukone (200 kN) 1,0 metrin etäisyydellä luiskan reunasta.

Luiskan kaltevuus	Meluvallin korkeus H				
	[m]				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1 : 5	12	12	15	15	15
1 : 2	12	15	20	25	25
1 : 1	15	20	25	30	35
2 : 1	20	25	30	35	40

Kuva A. Meluvallin sisäinen vakavuus sekä pehmeän pohjamaan kautta syntyvä liukupinta.



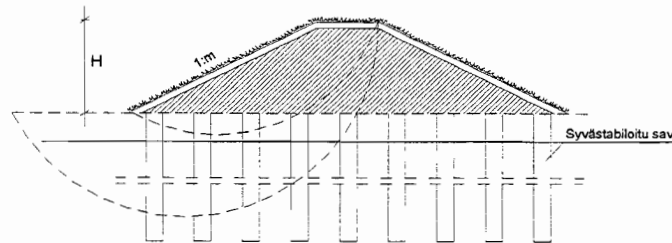
Kuva B. Massastabiloinnilla vahvistetun meluvallin eri tyypiset liukupinnat



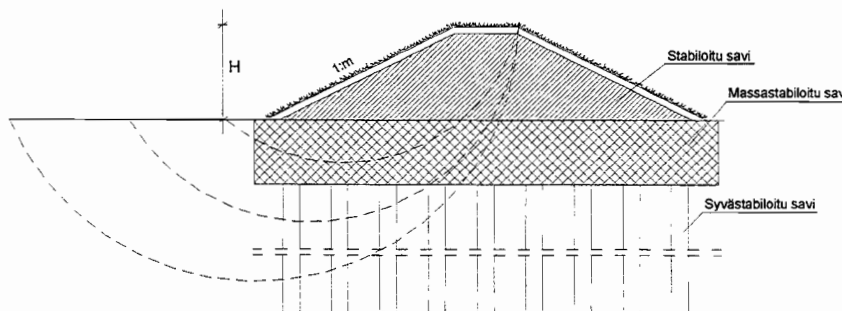
- 1. Tapaus: Liukupinta syntyy penkereen sisään.
 - - 2. Tapaus: Liukupinta syntyy pehmeän pohjamaan kautta.

Kuva 22. Meluvallin mahdollisia liukupintoja kovalle ja pehmeälle pohjalle sekä massastabiloidulle savelle perustettaessa.

Meluvalli voidaan perustaa myös pelkästään syvästabiloiduille pilareille tai yhdistää massastabiloinnin kanssa. Kuvassa 23 on esitetty näissä tapauksissa mahdollisia esille tulevia liukupintoja. Näiden liukupintojen tarkastelu suoritetaan voimassa olevien vakavuuslaskelmamenetelmien mukaisesti.



Kuva A. Syvästabiloinnille perustetun meluvallin eri tyyppiset liukupinnat.



Kuva B. Massastabiloinnilla ja syvästabiloinnilla vahvistetun meluvallin eri tyyppiset liukupinnat

Kuva 23. Syvä(pilari)- ja massastabiloinnilla vahvistetun meluvallin mahdollisia liukupintoja.

7.6 MUUT RAKENTEET

7.6.1 Piha- ja maisemointitäytöt

Piha- ja maisemointitäyttöjen mitoitus tehdään sillä tarkkuudella kun kulloinkin on tarpeellista. Yleensä vain kuormituskestävyys on tarpeen.

7.6.2 Rakennusten vierus- ja alustäytöt

Rakennusten vierustäytöissä on mitoitettava stabiloidulle savelle riittävä routakestävyys. Routamitoitus tehdään kohdan 8.2.2 mukaan. Kuormituskestävyys voidaan tehdä samalla tarkkuudella kuin pysäköinti- ja piha-alueilla kohdan 8.2.3 mukaan. Stabiloidun saven tartunta perustusrakenteisiin estetään perusmuurilevyllä tai lämmöneristeellä.

8. YMPÄRISTÖOMINAISUUDET JA KUNNOSSAPITO

8.1 YMPÄRISTÖKELPOISUUS

Massastabiloidun saven ympäristökelpoisuuden arvioinnin kannalta tärkein tekijä on stabiloinnissa käytettävät sideaineet, joissa voi olla mukana sementin ja kalkin lisäksi teollisuuden sivutuotteita. Massastabiloinnissa kysymykseen tulevilla sideaineilla merkittävimpiä haitallisia liukenevia aineita ovat kloridit ja raskasmetallit mutta myös muiden haitallisten aineiden liukenemiseen tulee kiinnittää huomiota. Uusiotuotteilla stabiloitu savi ei saa aiheuttaa terveydellisiä haittoja ympäristölle eikä vahingoittaa maassa olevia putkia tai muita laitteita. Viikin koerakentamiskohteessa käytetyt sideaineet ovat ympäristökelpoisia.

Ympäristökelpoisuuden arvioinnissa sovelletaan Hollannissa käytettyjä teollisuuden sivutuotteiden maarakennuskäytön arviointikriteerejä. Teollisuuden sivutuotteille on esitetty hollantilaiseen liukoisuustestiin pohjautuvat liukoisuuden maksimiarvot erilaisille haitta-aineille. Taulukossa 12 on esitetty Hollannissa käytössä olevat liukoisuuden raja-arvot eri haitta-aineille eri sijoitusryhmissä 1A ja 1B. Sijoitusryhmässä 1A stabiloitu massa sijoitetaan eristämättömänä pysyvästi kosteaan rakenteeseen eli esimerkiksi pohjavedenpinnan alapuolelle. Sijoitusryhmässä 1B rakenne on vain ajoittain kosteassa tilassa.

Taulukko 12. Hollantilaisen diffuusiotestin ohjearvoehdotukset (mg/m²/64d) maarakennuksessa käytettäville sivutuotteille (Tammirinne ym., 1995).

Aine	Kiinteä materiaali, näytteen tilavuus V > 50 cm ³	
	Ryhmä 1A	Ryhmä 1B
As (Arsenikki)	41	140
Ba (Barium)	600	2 000
Cd (Kadmium)	1,1	3,8
Co (Koboltti)	29	95
Cr (Kromi)	140	480
Cu (Kupari)	51	170
Hg (Elohopea)	0,4	1,4
Mo (Molybdeeni)	14	48
Ni (Nikkeli)	50	170
Pb (Lyijy)	120	400
Sb (Vanadium)	3,7	12
Se (Seleen)	1,4	4,8
Sn (Tina)	29	95
V (Vanadium)	230	760
Zn (Sinkki)	200	670
Br (Bromi)	29	95
Cl (Kloori)	18 000	54 000
CN-kompleksi	7,1	24
CN-vapaa	1,4	4,8
F (Fosfori)	1 300	4 400
SO ₄ (Rikki)	27 000	80 000

Massastabiloidun saven ympäristövaikutusten arvioinnissa on huomioitava erityisesti sekoitus- ja sijoituspaikalla vallitsevat pohja- ja ympäristöolosuhteet, kuten haitta-aineiden leviämisreitit ja pohjavesialueiden sijainti

8.2 YMPÄRISTÖKELPOISUUSTESTIT

8.2.1 Standarditestit

Massastabiloiduista savista liukenevia haitallisten aineiden määriä on tutkittu esimerkiksi typpihappo- ja vesiuutolla sekä hollantilaisella diffuusio- (liukoisuus)testillä. Tulosten perusteella stabilointi muuttaa haitallisia yhdisteitä niukkaliukoisempaan muotoon, koska stabiloidun saven liukoisuudet ovat lähes poikkeuksetta alhaisemmat kuin luonnontilaisella savella. Valmiista stabiloidusta rakenteesta otetaan esimerkiksi salaojista vesinäytteitä, jotka analysoidaan standarditutkimuksilla. Muita standardoituja liukoisuustestejä on esitetty VTT:n julkaisussa (Tammirinne ym., 1995).

8.2.2 Typpihappo- ja vesiuuttotesti

Stabiloitujen koekappaleiden kokonaispitoisuudet määritetään esimerkiksi 5N typpihappouutoksella (SFS 3044), josta fosforipitoisuudet saadaan kalorimetrisesti (SFS 3026) ja Cu, Pb, Cr, Ni ja Zn pitoisuudet atomiabsorptiospektrometrilla käyttäen graniittiuniteknikkaa (SFS 3044). Vesiliukoiset pitoisuudet määritetään vesiuutoksesta (uutossuhde 1:60, ravistelu 1 h). Luonnollisia uutto-olosuhteita jäljitellään lievästi happamassa (pH 4,5) ammoniumasetaatti-etikkahappo-EDTA-uutossa. Typpihappouuttoisia pitoisuuksia verrataan Lääkintöhallituksen yleiskirjeessä n:o 1637/77 maanviljelyskäyttöön soveltuvalle jätevesilietteelle sallittuihin vastaaviin raskasmetallipitoisuuksiin.

8.2.3 Hollantilainen diffuusio- (liukoisuus)testi

Hollantilaisessa liukoisuustestissä (NEN 7345) voidaan tutkia sekä haitta-aineiden liukenemistapaa että tietyssä ajanjaksossa liukenevien haitta-aineiden määrää materiaalin pinta-alaa kohden (Taulukko 12).

Hollantilaisen diffuusiotestin koekappaleen tulisi olla lieriö, jonka korkeus ja halkaisija ovat vähintään 40 mm. Koekappaleiden tulee olla mahdollisimman säännöllisiä ja tasaisia eikä niissä saa olla murtumia tai halkeamia.

Standardin NEN 7345 mukaan arvioidaan eri aineiden liukenemismekanismit. Diffuusiokertoimet lasketaan niille testijaksoille, joissa liukeneminen tapahtuu diffuusion kautta. Diffuusiokertoimen perusteella arvioidaan eri aineiden liukeneminen 64 päivän aikana diffuusion kautta.

8.2.4 Vesinäytteet

Valmiista massastabiloidusta rakenteesta voidaan ottaa vesinäytteitä esimerkiksi salaojasta, joka kerää kuivatusvesiä rakenteen alla. Vesinäytteet analysoidaan laboratoriossa standarditutkimuksin.

8.3 YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

Massastabiloidun maarakenteen ympäristöturvallisuutta selvitetään kenttäkokeilla keräämällä tutkittavan materiaalin läpi suotautunutta vettä tai mahdollisesti rakenteen pinnalta ja materiaalin kanssa kosketuksessa ollutta sadevettä. Tutkimusmenetelmänä käytetään yleensä lysimetriallasta, johon laskeutuvat vedet johdetaan erilliseen lysimetrikaivoon ja siitä otetaan vesinäytteet laboratoriotutkimuksiin. Suotoveden laatu riippuu ns. L/S-suhteesta eli kokonaisvesimäärästä L, joka on ollut kosketuksessa materiaaliin S kanssa. Kenttäkokeiden tuloksia voidaan verrata laboratoriokokeissa vastaavilla L/S-suhteilla saatuihin tuloksiin. Kenttäkokeista voidaan myös porata näytteitä, joista voidaan tehdä liukoisuustestejä.

8.4 KUNNOSSAPITOTOIMENPITEET

Kunnossapidon kannalta tulee kiinnittää huomiota stabiloidun saven lujuustasoon ja vaikutuksiin ympäröivissä rakenteissa. Massastabiloitua savea käytettäessä putkien tai rumpujen lopputäytössä on massan lujuustaso valittava siten, että rakenteet voidaan kaivaa myöhemmin auki kunnossapito- tai korjaustöitä tehtäessä. Putkien ja rumpujen ympärystäytöissä stabiloidun saven käyttö ei ole suotavaa. Ympäröivissä rakenteissa stabiloinnissa käytettävä sideaine saattaa vahingoittaa maassa olevia rakenteita ja laitteita. Varsinkin käytettäessä teollisuuden sivutuotteita sideaineina täytyy varmistaa, ettei stabiloitu savi aiheuta haittaa ympäröiville rakenteille.

9. YLIJÄÄMÄSAVIEN MASSASTABILOINNIN KUSTANNUKSET

9.1 KUSTANNUKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Massastabiloidun savirakenteen kustannuksista suurimman osan muodostavat sideaineet. Tällä hetkellä stabiloinnissa käytetään sementtiä tai kalkkia muiden teollisuuden sivutuotteiden kanssa, jotta haluttu stabiloituvuus saavutetaan. Muita kustannuseriä ovat saven kaivu, siirrot, sideaineen sekoitus saveen ja kerrosten rakentaminen.

Katurakenteissa vaaditaan yleensä suuria lujuuksia, joten esimerkiksi sementin osuutta on vaikea vähentää. Toisaalta mm. matalissa meluvälillä ei välttämättä tarvita suuria lujuuksia, ja sivutuotteiden osuutta kasvattamalla sideainekustannukset alenevat. Sideainemääriin vaikuttavat myös maarakenteen tavoiteltava kestoikä ja mahdollisten riskien pienentäminen.

Sideaineiden sekoitustekniikalla on sinänsä suuri merkitys kokonaiskustannuksiin, koska kehittymätön tekniikka aiheuttaa puutteita tasalaatuisuuteen ja johtaa suurempaan sideainetarpeeseen riittävän lujuustason saavuttamiseksi. Massastabilointikustannuksia laskettaessa tulee ottaa huomioon, että käyttämällä massastabiloitua savea paikallisesti vältetään korvaavan maamateriaalin hankintakustannuksilta ja lisäksi säästetään ylijäämäsaveen kuljetuskustannuksissa ja kaatopaikkamaksuissa.

9.2 SIDEAINEKUSTANNUKSET

Sideaineet voidaan jakaa perinteisiin stabilointisideaineisiin kuten sementti, kalkki ja Nordkalk:n Terra-tuotteet ja toisaalta teollisuuden tuottamiin sivutuotteisiin kuten masuunikuonat eri muodoissaan, lentotuhka, rikinpoiston lopputuote sekä jätekipsi. Optimaalinen sideaineyhdistelmä ja –määrä selvitetään stabiloituvuuskokeilla.

Sideainekustannukset riippuvat saven stabiloituvuudesta ja saavutettavasta lujuustasosta tietyllä sideainemäärällä. Laboratoriokokeissa tutkitaan eri sideainevaihtoehtojen ja seossuhteiden avulla saven stabiloituvuutta, minkä perusteella yleensä saadaan muutama sideaineyhdistelmä, joiden väliltä valitaan paras vaihtoehto kustannusten perusteella.

Sideainekustannuksiin vaikuttaa suuresti stabiloitavan rakenteen lujuusvaatimus. Mitä suurempi rakenteen lujuustaso on sitä enemmän sideainetta tarvitaan ja usein myös sementin tai kalkin osuus kasvaa, jolloin sideainekustannukset nousevat.

Sideaineiden hinnat ovat suuruusluokaltaan seuraavat:

• Portlandsementti	450	mk/t
• Poltettu kalkki	550	mk/t
• Nordkalk Terra	400	mk/t
• Masuunikuona	350	mk/t
• Kipsi	350	mk/t
• Lentotuhka	58	mk/t
• Rikinpoiston lopputuote	38	mk/t

Sideaineiden hinnat saattavat vaihdella kausiluontoisesti sekä kerralla tilattavan määrän mukaan.

9.3 RAKENNUSKUSTANNUKSET

9.3.1 Katurakenteet

Katurakenteissa sideainekustannukset muodostuvat korkeiksi, koska stabiloidulta savelta vaaditaan suurta lujuutta. Alusrakenteen parannusmateriaalina ja pengerrakenteissa lujuustaso on alhaisempi kuin päällysrakennekerroksissa. Tällöin voidaan karkeasti sanoa, että sideainekustannukset kasvavat mitä korkeampi tasoisessa kerroksessa savea käytetään.

Viikin savikatu-projektin loppuraportin [Massastabiloitujen..., 1999] mukaan kadun tukikerroksen kustannukset muodostuvat seuraavasti:

Stabiloitu savi kadun tukikerroksena

	mk/m ³ -rtr
- Sideainekustannus	60...80
- Sekoitus	10
- Siirrot, levitys, tiivistäminen	10
- Jälkityöt	5
- Yleiskustannukset	5
Yhteensä	90...110 mk/m ³ -rtr

Stabiloitu savi katupenkereessä/alusrakenteen parannusmateriaalina (pehmeä savi)

	mk/m ³ -rtr
- Sideainekustannus	35...55
- Sekoitus	5
- Siirrot, levitys, tiivistäminen	10
- Jälkityöt	-
- Yleiskustannukset	5
Yhteensä	55...75 mk/m ³ -rtr

9.3.2 Pysäköinti- ja piha-alueet

Pysäköinti- ja piha-alueilla rakennuskustannukset muodostuvat samalla tavalla kuin katurakeissa. Katurakentamisen kustannustietoja sovelletaan sen mukaan, missä kerroksessa stabiloitua savea käytetään ja mikä on pihan tai pysäköintialueen toiminnallinen luokka ja kantavuusvaatimus.

9.3.3 Johtolinjat

Stabiloidun saven käyttö johtolinjojen perustuksissa on kustannuksiltaan verrattavissa katurakenteiden pohjamaan parannustoimenpiteeseen. Sideainekustannukset määräytyvät alusrakenteelta vaadittavan lujuusvaatimuksen mukaan.

Johtolinjojen lopputäytöissä stabiloidun saven lujuustaso ei saa olla liian suuri, jolloin sideainevalinnoissa on syytä kiinnittää huomiota sementin ja kalkin määrään suhteessa teollisuuden sivutuotteisiin.

9.3.4 Meluvallit ja piha- ja maisemointitäytöt

Meluvallissa stabiloitavalta savelta vaadittava lujuus riippuu rakenteen korkeudesta ja luiskien jyrkkyydestä. Saven lujuustasoa nostamalla luiskia voidaan jyrkentää.

Piha- ja maisemointitäytöissä stabiloitavan saven lujuus riippuu kohteen laadusta eli siitä millaiset vaatimukset täytöille on asetettu. Yleensä näkövaatimukset ovat

tärkeimmät, jolloin saven liian suuret painumat eivät ole sallittuja. Sideainekustannukset saadaan alhaisiksi käyttämällä runsaasti teollisuuden sivutuotteita, kun lujuustasovaatimus on alhainen.

Viikin savikatu-projektin (Massastabiloitujen..., 1999) kokemusten perusteella on meluvalleille ja ympäristötäytöille arvioitu seuraavat kustannukset:

Stabiloitu savi meluvalleissa ja piha- ja maisemointitäytöissä

	mk/m ³ -rtr
- Sideainekustannus	30
- Sekoitus	5
- Siirrot, levitys, tiivistäminen	10
- Jälkityöt	-
- Yleiskustannukset	5
Yhteensä	50 mk/m ³ -rtr

9.3.5 Rakennusten vierus- ja alustäytöt

Rakennusten vierus- ja alustäytöissä stabiloitavan saven sijoituspaikka ja rakennuksen käyttötarkoitus asettavat stabiloidulle massalle tietyt lujuusvaatimukset. Alustäytöissä kantavuusvaatimukset ovat vierustäyttöjä korkeammat. Vierustäytöissä stabiloidun saven kantavuuden on oltava suurempi riippuen siitä rajoittuuko rakennuksen vierustaan pysäköintialuetta. Rakennuksen vierustäytöissä on kustannuksissa otettava huomioon myös mahdollinen routasuojaustarve.

10. LAADUNVALVONTA

10.1 MASSASTABILOINNIN LAADUNVALVONTAAN SOVELTUVAT MENETELMÄT

Saven massastabilointi on uusi menetelmä, jolloin laadunvalvontaan ja käytettäviin menetelmiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tällä hetkellä laadunvalvonta tapahtuu paljolti syvästabiloinnissa käytetyillä menetelmillä, mutta tulevaisuudessa tulisi kehittää juuri massastabiloinnin laadunvalvontaan soveltuvia menetelmiä. Massastabiloidun saven laadunvalvontamenetelmiksi soveltuvat ensisijaisesti:

- stabilointikairaukset
- kantavuusmittaukset
- näytteenotto ja laboratoriokokeet

Laadunvalvontaan kuuluu myös ns. työtapatarkkailu, jossa seurataan ja kirjataan ylijäämäsavien ominaisuuksien vaihtelut, sekoitusajat ja mahdolliset keskeytykset eri työvaiheissa jne. Asiantunteva ja kokenut työmaavalvoja voi osaltaan varmistaa työn lopputuloksen onnistumisen mahdollisimman hyvin sekä ohjata stabiloidulla savella rakennettavan kohteen poikkeaviin työmenetelmiin liittyvissä asioissa.

Stabilointikairaukset soveltuvat ainoastaan yli 1 metrin paksuisten kerrosten tutkimiseen, koska kairan kärjen maahan lyöminen vaatii 0,3...0,5 metrin kerroksen. Tämä rajoittaa kairojen käyttöä esimerkiksi ohuissa alle 1 metrin paksuissa katurakenteissa sekä piha- ja pysäköintialueiden yläpuolisissa rakennekerroksissa. Sen sijaan stabiloidusta savesta rakennettuihin katupenkereisiin ja meluvalleihin sekä paksuihin pohjamaan parannuskerrokseen kairat soveltuvat.

Stabiloidusta savesta tehtyjen katujen sekä pysäköinti- ja piha-alueiden rakennekerrosten laadunvalvontaa voidaan käyttää levykuormituskoetta tai pudotuspainolaitetta. Laadunvalvontaan voidaan liittää myös lopullisen rakenteen painumien ja routanousujen vaaitusmittauksia sekä erilaisten mitta-anturien seurantamittauksia. Laboratoriossa tutkitaan mm. näytteiden lujuutta sekä sideainepitoisuutta.

10.2 STABILOINTIKAIRAUKSET

10.2.1 Eri kairausmenetelmät ja niiden valinta

Massastabiloinnissa on mahdollista käyttää rakennuskohteesta riippuen seuraavia kairauslajeja:

- puristin-heijarikairaus
- CPTU-kairaus
- pilarisiipikairaus
- porakonekairaus

Eri kairatyyppien valintaan vaikuttaa stabiloidun savirakenteen leikkauslujuus taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. Kairausmenetelmän valinta stabiloidun savikerroksen leikkauslujuuden mukaan.

Kairauslaji	Leikkauslujuus S_u [kPa]
Puristin-heijarikairaus	
CPTU-kairaus	200...1500
Pilarisiipikairaus	<250
Porakonekairaus	> 1000

10.2.2 Puristinheijarikairaus

Puristinheijarikairaus on Suomessa ja Ruotsissa kehitetty kairausmenetelmä, jossa yhdistetään kansainvälisesti yleinen puristinkairaus (CPT) ja heijarikairaus. Puristinheijarikairaus käytetään yleensä maakerrosrajojen määrittämiseen suuntaa-antavan käsityksen hankkimiseen maakerrosten lujuudesta ja tiiveydestä. Kairatessa stabiloituja kerroksia havaitaan mahdolliset heikot vyöhykkeet.

Puristinheijarikairaa voidaan lyödä lujittuneen kerroksen läpi toisin kuin esimerkiksi CPTU-kairaa, joten puristinheijarikairaa soveltuu parhaiten ensimmäiseksi

kairaustavaksi. Menetelmä soveltuu stabiloidun saven lujuusvaihteluiden määrittämiseen. Automaattisella rekisteröintilaitteella varustetussa puristinheijarikairassa kairausvastus rekisteröityy 40 mm välein.

10.2.3 CPTU-kairaus

CPTU-kairaus on puristinkairaus, jota on täydennetty huokospainemittauksella. Kairan kärkiosassa on kärkivastusanturi, paikallista vaippavastusta mittaava anturi, huokospaineanturi ja kaikki em. tiedot 20 mm välein mittaava muistiyksikkö.

CPTU-kairauksella saadaan luotettavampaa tietoa stabiloidun saven lujuudesta ja varsinkin lujuuden vaihteluista huokospainehavaintojen ansiosta kuin puristinheijarikairauksella. CPTU-kairaus soveltuu vain puolilujille ja pehmeille stabiloiduille rakenteille. CPTU-kairassa kairausvastus saadaan suhteellisen pieneltä alueelta kärjen koon takia.

10.2.4 Pilarisiipikairaus

Pilarisiipikaira on nimensä mukaisesti kehitetty syvästabiloitujen pilareiden tutkimiseen. Menetelmä soveltuu myös massastabiloitujen savirakenteiden tutkimiseen, joissa leikkauslujuus ei ole yli 250 kPa. Pilarisiipikairalla määritetään stabiloidun massan leikkauslujuus.

10.2.5 Pilarikairaus

Pilarikairaus muistuttaa pilarisiipikairausta mutta siinä käytetyn kairan kärjen pinta-ala on suurempi (100 cm²). Pilarikairauksessa kairan kärki on muotoiltu paremmin ohjautumaan pilarin sisällä mutta tällä ei ole merkitystä massastabiloinnissa. Pilarikairaus mittaa lujuutta laajemmalta alueelta kuin puristinheijarikairaus tai CPTU-kairaus. Pilarikairauksen tulos muunnetaan leikkauslujuudeksi käyttäen kaavoja (7) ja (8). Pilarikaira soveltuu lujempien kerrosten tutkimiseen kuin pilarisiipikaira ja se on jonkin verran nopeampi ja halvempi kuin pilarisiipikairaus.

$$s_u = 10 \cdot \text{puristusvoima} \text{ [kN]} \quad (7)$$

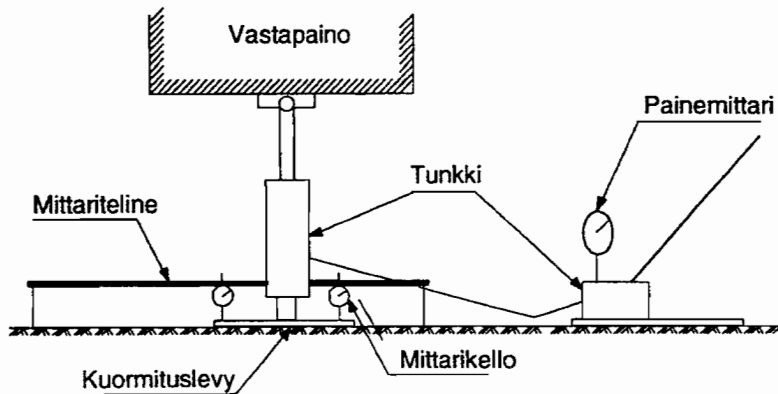
$$s_u = 10 \cdot \text{heijarikairausvastus} \text{ [lyöntiä/0,2 m]} \quad (8)$$

10.3 KANTAVUUSMITTAUKSET

10.3.1 Levykuormituskoe

Levykuormituskoe soveltuu katu- sekä piha- ja pysäköintialueiden kantavuuden in-situ -mittaukseen. Laitteella mitataan tutkittavan rakenteen pinnan painumaa yleensä 300 mm halkaisijalla olevan jäykän metallilevyn alta. Levyä kuormittavan staattisen voiman vastapaino saadaan tavallisesti kuorma-autosta, johon levykuormitusvastus

on kytketty. Kokeessa kuormitus nostetaan 10 kN portain maksimikuormaan 60 kN. Kuormitus tehdään kahtena syklinä ja muodonmuutosmoduuli E_2 määritetään toistokuormitusvaiheen kuormitus-muodonmuutosriippuvuuden perusteella. Kantavuussuhde E_2/E_1 saadaan laskettua suoraan tuloksista. Levykuormituslaitteiston mittausjärjestelyt on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Levykuormituskokeen järjestelyt [Ehrola, 1996].

10.3.2 Pudotuspainolaite

Pudotuspainolaitteita on olemassa sekä kevyitä versiota (Loadman) että raskaampia auton perään kytkettäviä laitteistoja (esimerkiksi Kuab). Loadman-pudotuspainolaite soveltuu ainoastaan ohuiden pintaa lähellä olevien kerrosten kantavuuden tutkimiseen. Loadman-laitteella saadaan kuitenkin tutkittua kantavuutta ahtaissa paikoissa kuten johtokaivannoissa ja muissa rakentamisen alla olevissa paikoissa, jonne raskaammalla pudotuspainolaitteella ei päästä mittaamaan. Auton perään kytkettävät raskaammat pudotuspainolaitteet soveltuvatkin ainoastaan katurakenteiden ja piha- ja pysäköintialueiden kantavuuden mittaukseen päällysteen päältä.

Pudotuspainolaitteen kuormitustapahtuma on dynaaminen ja kokeessa mitataan kuormituslevyn keskikohdan edustaman maksimitaipuman lisäksi painumat eri etäisyyksillä kuormituslevystä. Tulosten perusteella voidaan määrittää kuormituksen rakenteen pintaan synnyttämän taipumakuvion (taipumasuppilon) muoto. Taipumasuppilon muoto kuormituslevyn läheisyydessä kuvastaa päällysrakenteen yläosan muodonmuutosominaisuuksia ja taipumat etäällä kuormituslevystä alusrakenteen laatua.

10.3.3 Ruuvilevykoe

Ruuvilevykoe on kehitetty Norjassa 1970-luvulla. Kokeessa maahan haluttuun syvyyteen kierrettyä halkaisijaltaan 160 mm tai 300 mm ruuvia kuormitetaan esimerkiksi maa-ankkureita tai kuorma-autoa vastapainona käyttäen. Kuormitusportaiden minimimäärä on 5 kpl mittaustasoa kohti. Normaalisti yhden

kuormitusportaan kuormitusaika on 20...30 minuuttia. Kuormitusvyvyys on tavallisesti alle 10 metriä. Ruuvilevykuormituskokeessa saadaan stabiloidun kerroksen painuma- ja kantavuusparametrit. Kerrospaksuuden on oltava kuitenkin riittävän paksu (> 1 m).

10.4 PAINUMA- JA SIIRTYMÄMITTAUKSET

Stabiloitujen rakenteiden painumia ja siirtymiä voidaan seurata riittävästi toistetuin tarkkailumittauksin. Painumien kehittymistä seurataan vaaitusten avulla esimerkiksi päällysteeseen asennettujen metallinastojen kohdalla. Metallinastoilla vaaitustarkkuus paranee ja mittausten yhteydessä havaitaan z-koordinaatin lisäksi tarvittaessa x ja y, jotka saattavat antaa viitteitä sivusiirtymistä. Sivusiirtymien maksimiarvot sijaitsevat maanpintaa syvemmällä ja niitä seurataan tarvittaessa inklinometrimittauksin.

10.5 MUUT IN SITU -MITTAUKSET

Muita in situ -mittauksia ovat mm. lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mittaus.

Lämpötila vaikuttaa ratkaisevasti stabiloidun saven lujittumiskehitykseen. Tämän vuoksi lämpötilaa ja sen muutoksia on seurattava stabilointityön aikana erityisesti pakkaskaudella. Ulkolämpötilamittausten lisäksi mitataan lujittuvan stabiloidun rakenteen sisältä lämpötiloja.

10.6 NÄYTTEENOTTO

Stabiloidusta savirakenteesta saadaan otettua näyte porakonekairalla, timanttikoralla tai halkaistavalla teräsputkella. Näytteiden lukumäärä riippuu massastabiloidun savirakenteen laatuvaatimuksista sekä rakennetun alueen laajuudesta.

Porakonekairalla saadaan hyvissä olosuhteissa häiriintymätön näyte. Stabiloiduista kohteista näytteenotto onnistuu paremmin, jos rakenne on pehmeä tai puolikova pilaristabiloinnin lujuustermeillä ilmaistuna. Kovista rakenteista näytteenotto porakonekairauksella on tuottanut vaikeuksia ja näytteisiin on syntynyt mikrohalkeamia, jolloin puristuskokeessa koekappale ei käyttäydy oikealla tavalla. Porakonekairaus mahdollistaa näytteiden oton eri syvyyksiltä rakenteesta. Timanttikorauksella saadaan tarvittaessa häiriintynyt näyte hyvinkin kovista rakenteista.

Sekä porakonekairauksessa että timanttikorauksessa käytettävä vesihuuhdeltu vaikuttaa stabiloidun rakenteen syöpymiseen, mikä on otettava menetelmän valinnassa huomioon.

Paksuissa stabiloiduissa savirakenteissa kuten alusrakenteen parannuskohteissa ja pengerrakenteissa voidaan näyte ottaa halkaistavalla teräsputkella ($\varnothing 100-500$ mm), joka koneen avulla painetaan rakenteen sisään ja nostetaan ylös näytteineen. Tällaisesta koekappaleesta voidaan arvioida sideaineen sekoittumisaste eri

syvyyksillä ja lujuus voidaan tutkia joko pienemmistä koekappaleista tai suoraan halkaistusta näytteestä penetrometrillä.

10.7 LABORATORIOTUTKIMUKSET

Laboratoriossa tehtävien kokeiden laatuun ja lukumäärään vaikuttavat kohteen laatuvaatimukset sekä näytteiden laatu. Mikäli näytteet eivät pysy ehjänä, saadaan niistä määritettyä enintään sideainepitoisuus ja karkeasti tasalaatuisuus. Laboratoriossa näytteille voidaan tehdä seuraavia kokeita:

- pH-mittaus
- kokonaissideainemääritys
- yksiaksiaalinen puristuskoe
- penetrometrimittaus

PH-mittauksilla määritetään näytteen happamuus, joka vaihtelee johtuen saven kerroksellisuudesta ja sideaineen erilaisesta jakautumisesta rakenteen eri osissa. PH-mittaukset paljastavat liian alhaiset sideainekohdat.

Kokonaissideainemääritykset paljastavat stabiloidun massan sideainevaihtelut. Sideainepitoisuusmäärityksiä varten tarvitaan noin 100 g painoinen näyte (0,1 dm³) sekä vertailunäyte stabiloimattomasta savesta.

Sideaineen sekoittuneisuutta voidaan arvostella myös hajun perusteella.

Sideainepitoisuuden määrittäminen on tehtävä riittävän monelta syvyydeltä, jotta pystytään varmuudella arviomaan sideaineen sekoittuminen koko rakenteen paksuudella. Yleensä juuri syvyys suunnassa sideainepitoisuusvaihtelut ovat olleet suuria.

Stabiloitujen koekappaleiden puristuslujuus tutkitaan esimerkiksi yksiaksiaalisella puristus- tai kolmiaksiaalikokeella riippuen kohteen vaativuudesta. Usein ehjän puristuskoekappaleen saaminen kovasta stabiloidusta rakenteesta on hankalaa ja jopa mahdotonta. Parhaiten kovasta stabiloidusta rakenteesta näytteen saa käyttämällä leikkaavaa timanttiporausta. Näytteitä voidaan ottaa myös heti rakentamisen aikana ja säilyttää rakenteen lämpötilassa esimerkiksi 7 ja 30 vuorokautta ennen lujuustestausta.

11. KIRJALLISUUSLUETTELO

Ehrola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Tampere: Rakennustieto Oy. 365 s.

GLO-85. 1985. Geotekniset laboratorio-ohjeet. GLO-85. 1. Luokituskokeet. Suomen geoteknillinen yhdistys. Espoo: Rakentajain Kustannus Oy. 107 s.

Huttunen, E., Ahonen, M. 1996. Stabiloitujen kaivumassojen routakestävyys. Oulun Yliopisto, geotekniikan laboratorio. Oulu.

Karlstedt, P., Halkola, H. 1993. Ylijäämäsavien massastabilointi. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto, geotekninen osasto. Helsinki. 70 s.

Katu 90. 1991. Kadunrakennuksen tekniset ohjeet. Katu 90. Suomen kunnallisteknisen yhdistyksen julkaisu 11. Jyväskylä. 273 s.

Kehä III – Massastabilointi koerakenteena. 1994. Tielaitos Uudenmaan tiepiiri, Viatek Tapiola Oy, Lohja Rudus Oy Ab, YIT-Yhtymä Oy, tutkimusraportti.

KPO-86. 1986. Kalkkipilariohjeet. Viatek Oy. Helsinki. 43 s.

KT97. 1997. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys KT97. Suomen Kuntaliitto. Helsinki. 290 s.

Laaksonen J. 1995. Stabiloitun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. Tielaitoksen selvityksiä 94/1995. Tielaitos, Geokeskus. Helsinki. 82 s.

Lahtinen, P., Parkkinen, E. 1992. Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. Tielaitoksen selvityksiä 46/1992. Tiehallitus. Helsinki. 53 s.

Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa. 1999. Viikin savikatu. Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto. Luonnos Innogeo Oy. Helsinki. 55 s.

Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa - Tyyppirakenteiden ja mitoitusparametrien määrittäminen. 1995. Helsingin kaupunki, geotekninen osasto, Lohja Rudus Oy Ab Ympäristöteknologia, Viatek-yhtiöt Oy. Helsinki. 21 s.

PRO-87. 1987. Pohjarakennusohjeet PRV-84. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. Rakentajain Kustannus Oy 1987.

STO-91. 1991. Syvästabilointiohjeet. Rakennusaineteollisuusyhdistys R.y. Helsinki.

Syvästabiloinnin mitoitusohje. 1997. Tielaitoksen selvityksiä 18/1997, Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitos, Tuotanto, Konsultointi. Helsinki. 42 s.

Syvästabilointi tielaitoksen kohteissa Osa 1. 1999. Toteutetut kohteet. Tielaitoksen selvityksiä 2/1999. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki. 69 s.

Syvästabilointi tielaitoksen kohteissa Osa 2. 1999. Laadunvalvontatutkimukset ja laadunalitusten vaikutus. Tielaitoksen selvityksiä 3/1999. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki. 69 s.

Talonrakennuksen routasuojausohjeet. 1997. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tampere: Rakennustieto Oy. 94 s.

Tammirinne, M., Juvankoski, M., Kivikoski, H., Leivo, M., Mroueh, U.-M., Mäkelä, E., Peltonen, P., Pihlajamäki, J. & Wahlström, M. 1995. Uusiotuotteiden maanrakennuskäytön edellyttämät tutkimukset laboratoriossa ja koerakenteilla. VTT Yhdyskuntatekniikka, Tie- ja geotekniikka Tutkimusraportti 278. Espoo. 110 s.

Teiden pehmeikkötutkimukset. 1998. Tielaitoksen selvityksiä 28/1998, Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitos, Tiehallinto Tie- ja liikennetekniikka, Tuotanto, Konsultointi. Helsinki. 90 s.

Teiden suunnittelu, osa IV tien rakenne, TVL 1985, Täydennetty 1991.

Teräsverkkojen käyttö lujitteina tie- ja katurakenteissa. 1999. Tammet - Polarkudos Oy. Innogeo Oy. Helsinki. 30 s.

MASSASTABILOITUJEN YLIJÄÄMÄSAVIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA

YLEINEN TYÖSELITYS JA LAATUVAATIMUKSET

0000 YLIJÄÄMÄSAVIEN MASSASTABILOINTI

Yleistä

Ylijäämäsavien massastabiloinnin yleinen työselitys ja laatuvaatimukset on esitetty KT97 nimikkeistön ja periaatteiden mukaisesti. Asiakirjaa voidaan käyttää KT97 täydentävänä osana HKR/Massastab.

Rakenneratkaisut

Tässä asiakirjassa käsitellään massastabiloidun saven käyttöä seuraavissa rakenteissa ja rakenneosissa:

- Rummun arinaperustus ja lopputäyttö
- Alusrakenteen parannus kadun ja penkereen alla
- Pengerrakenteet (meluvallit)
- Kadun tukikerros
- Pyörätien, jalkakäytävän ja raitin kantava kerros
- Johtolinjan arinaperustus ja lopputäyttö
- Viheralueiden täyttö ja pengerrys

Laatuvaatimukset

Laatuvaatimukset eri rakenteille ovat vastaavat kuin KT97:ssä ko. rakenteille esitetyt vaatimukset, mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu.

Materiaalivaatimukset

Materiaalivaatimukset stabiloitavalle savelle, sideaineelle/aineille sekä stabiloidulle massalle annetaan yleensä *stabilointisuunnitelmassa*. Sideaineina käytetään sementin ja kalkin (CaO) lisäksi teollisuuden tuottamia uusiotuotteita kuten, rikinpoiston lopputuotetta, lentotuhkaa, masuunikuonaa ja kipsiä sekä em. tuotteiden sekoituksia.

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä vastaavaan rakenteeseen tarkoitetun runkoaineen materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, tulee käyttää teollisesti valmistettuja ja standardisoituja sideaineita tai vastaavia tuotteita, kuten esimerkiksi sementtiä CEM II A 42,5, poltettua kalkkia (CaO), Nordkalk Terra (Partek) tai masuunikuonajauhetta ennakkokokeilla määritetyin seossuhtein ja sideainemäärin.

Kalkin laadun tulee täyttää STO-91:ssä asetetut vaatimukset, joiden mukaan

- kalkki on kovaksi poltettua sammuttamatonta kalkkia CaO
- kalkin rakeisuuden 0...0,2 mm on oltava sellainen, että vähintään 80 % läpäisee seulakoon 0,2 mm ja maksimiraekoko on $\leq 1,0$ mm
- sammuttamattoman kalkin CaO -pitoisuus saa olla vähintään 80 %.

Sementin tulee olla SFS-normin 3165 mukaista rakennussementtiä. Yleisesti saven stabiloinnissa käytetään sementtityyppejä CEM II A 42,5.

Mittavaatimukset

Kullekin rakenneosalle esitetään suunnitelmissa mittavaatimukset vähimmäis- tai enimmäismittoina sekä sallitut toleranssit. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, käytetään KT97:ssä vastaavalle rakenneosalle asetettuja mittavaatimuksia.

Sideainemäärä voi vaihdella suunnitelman mukaisesta ± 5 kg/m³. Suunnitelman mukainen sideainemäärä on saavutettava rakenneosakohtaisesti. Sideaineiden määrä mitataan vaa'alla, jonka tarkkuusvaatimus on ± 2 %.

Sideaine(id)en on silmämääräisesti oltava sekoittunut tasaisesti koko stabiloituun massaan.

Rakennevaatimukset

Stabiloiduille rakenteille esitetään suunnitelmissa lujuusvaatimukset ja niistä sallittavat poikkeamat. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan taulukossa 0001 eri rakenteille asetettuja lujuusvaatimuksia.

Materiaalin käyttökohde	Vaadittu leikkauslujuus [kPa]	Vaadittu kantavuus E_2 ¹⁾ [MPa]
Alusrakenteen parannus	105	35
Rummun/johtolinjan perustus	210	70
Rummun/johtolinjan lopputäyttö	210	70
Pengertäyttö	105	35
Suodatinkerros	210	70
Jakava kerros	675	200
Kantava kerros	900	300

1) Levykuormituskokeella mitattu kantavuusarvo E_2 .

Taulukko 0001. Eri stabiloiduilta rakenteilta vaaditut leikkauslujuudet ja kantavuudet.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven, sideaine(id)en ja stabiloidun massan laatu todetaan suunnitelmissa esitetyillä menetelmillä. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, todetaan laatu KT97:ssä vastaavalle rakenteelle esitetyillä menetelmillä.

Jollei suunnitelmissa ei ole esitetty muuta, massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan KT97 taulukossa 2601 esitetyillä näytemäärillä sen mukaan, mikä on materiaalin käyttökohde.

Sideaineiden kelpoisuus todetaan toimittajien laatutositteista, joista ilmenee CaO-pitoisuus. Stabiloitavan saven määrän perusteella otetaan sideainenäytteitä (sideaine-kg/savi-m³) taulukon 0002 mukaisesti.

Stabiloidusta massasta otettava näytemäärä ilmoitetaan stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, otetaan stabiloidusta massasta näytteitä taulukon 0002 mukaan.

Materiaalin käyttökohde	Vaadittu näytemäärä stabiloitavaa savi-m ³ kohden	
	Side-aine(et)	Stabiloitu massa
Alusrakenteen parannus	5 kg/1000 savi-m ³	20 kg/2000 savi-m ³
Rummun/johtolinjan perustus	10 kg/500 savi-m ³	40 kg/500 savi-m ³
Rummun/johtolinjan lopputäyttö	10 kg/500 savi-m ³	40 kg/500 savi-m ³
Pengertäyttö	10 kg/2000 savi-m ³	40 kg/2000 savi-m ³
Suodatinkerros	10 kg/1000 savi-m ³	40 kg/1000 savi-m ³
Jakava kerros	20 kg/1000 savi-m ³	60 kg/1000 savi-m ³
Kantava kerros	20 kg/1000 savi-m ³	60 kg/1000 savi-m ³

Taulukko 0002. Sideaineista ja stabiloidusta massasta vaaditut näytemäärät stabiloitavaa savi-m³ kohti.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan työn jälkeen erillisen *tutkimusohjelman* mukaisesti ja laatua seurataan työn aikana silmämääräisesti. Työn aikana tulee seurata stabiloitavan saven, sideaine(id)en ja stabiloidun massan homogeenisuutta.

Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty erillistä tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia leikkauslujuuden ja kantavuuden määrittämiseksi seuraavasti:

- Valvontakairauksia tehdään yleensä 14 - 30 vrk ikäiselle massastabiloidulle savirakenteelle.
- Levykuormituskokeita katurakenteen eri kerroksista 20 metrin välein.
- Stabiloidusta savimassasta otetaan työn aikana näytteitä laboratoriokokeita varten taulukon 0002 mukaan.
- Tutkittavien kohtien ja näytteiden tulee edustaa kattavasti koko stabiloitua rakennetta syvyys mukaan lukien.
- Koetulosten keskiarvon tulee olla vähintään suunnitelmissa esitetyn tavoitearvon suuruinen.

Stabilointityöstä pidetään pöytäkirjaa, josta selviää massastabiloidun rakenteen tunnistet, sijainti ja tekopäivä, massastabiloidun kerroksen ala- ja yläkorkeustaso, sideaineen syöttömäärä kg/savi-m³ sekä vaa'an lukemat ennen

ja jälkeen stabiloidun rakenneosan teon. Stabiloinnissa tapahtuneet häiriöt on tärkeää merkitä muistiin. Massastabiloidusta rakenteesta laaditaan aluekohtaiset tarkepiirustukset, joista ilmenee stabiloitujen massojen sijainti.

Työohjeita

Massastabilointityössä noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan työohjeita.

Massastabilointiin valitaan ensisijaisesti kohteeseen parhaiten soveltuva stabilointilaitteisto. Stabilointityö tehdään yleensä joko sekoittamalla sideaine saveen in situ tai läjitettyyn saveen. In situ -menetelmässä sideaine sekoitetaan kaivannossa suoraan saven sekaan, minkä jälkeen stabiloitu savimassa kaivetaan ylös ja siirretään rakennuskohteeseen tai välivarastoon. Toinen tapa on kaivaa stabiloitava savi ensin ylös ja läjittää välivarastoon, missä sideaine ja savi sekoitetaan hyvin keskenään. Sekoituksen jälkeen stabiloitu savimassa siirretään rakennuskohteeseen. Sekoitus voidaan tehdä myös laitosmaisessa sekoitinyksikössä.

Massastabiloitavan saven laatua seurataan kaivutyön tai in situ -sekoitustyön yhteydessä silmämääräisesti ja verrataan suunnitelmissa esitettyihin saven materiaali vaatimuksiin. Mikäli ilmenee poikkeamia, selvitetään niiden vaikutus suunnitelmiin.

Massastabiloitavasta savesta poistetaan ennen sideaineen sekoittamista puut, kannot ja pensaat sekä muut epäpuhtaudet siinä määrin, etteivät ne haittaa saven stabiloitumista. Jos stabilointi tehdään kasaan sekoittamalla, on kaivu- ja kuormausvaiheessa kiinnitettävä huomiota siihen, että savea lastataan samaan kuormaan tasaisesti koko kaivussyvyydeltä savimassan homogeenisuuden varmistamiseksi jo ennen sideaineen sekoittamista. In situ -menetelmässä varmistetaan siitä, että massastabiloitava savi sekoittuu sideaineen sekoitusvaiheessa tasaisesti koko suunnitellulla syvyydellä.

Sideaine levitetään stabiloitavan saven päälle tasaisesti koko mitatulle alueelle (esim. $10 \times 10 \text{ m}^2$) stabiloitavaa savimäärää (m^3 tai tonni) kohti. Työturvallisuuden takia voimakkaasti pölyävä sideaine tulee pumpata suoraan kuorma-auton säiliöstä suojapeitteen alle. Sideaine sekoitetaan stabiloitavaan saveen mahdollisimman tehokkaasti tarkoitukseen soveltuvalla kalustolla. Sideaineen hyvä sekoittuminen saveen varmistetaan tekemällä sekoitus systemaattisesti pysty- ja vaakasuunnassa riittävä moneen kertaan. Sekoituksen laatua voidaan seurata silmämääräisesti halkaisemalla sekoitettavassa savimassassa olevia kokkareita ja tarkistamalla värin, hajun tms. seikan avulla sideaineen sijainti näytteen pinnassa tai sisällä. Sekoituskertojen seuranta tapahtuu työmenetelmätarkkailuna. Sideaineen syöttölaitteiston toimivuus ja riittävä sekoittuminen tulee varmistaa varsinkin stabilointityön alkuvaiheessa.

Sekoituksen jälkeen stabiloitu savimassa varastoidaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla tai siirretään suunnitelmien mukaisessa aikataulussa kohteeseen. Suunnitelmissa annettuja aikarajoja on noudatettava, koska liian pitkä kovettumisaika voi kovettaa stabiloidun savimassan

kuormauksen, levityksen tai tiivistyksen kannalta liian kovaksi. Liian lyhyt kovettumisaika saattaa jättää stabiloidun massan liian veteläksi.

Stabiloidun savirakenteen tiivistystyö tehdään tarkoitukseen parhaiten soveltuvalla jyrällä, yleensä sorkkajyrällä. Tiivistämisessä noudatetaan KT97 taulukon 2501 mukaisia kerrospaksuuksia ja tiivistysohjeita, ellei suunnitelmissa ole mainittu muuta.

Tiivistetyn kerroksen lopullinen korkeusasema mitataan välittömästi tiivistämisen jälkeen ja ennen kerroksen lujittumista. Sallitut toleranssit alittavat tai ylittävät kohdat korjataan välittömästi massan poistolla tai lisäyksellä. Lisätty massa tiivistetään välittömästi.

Stabilointityössä on otettava huomioon mahdollinen maapohjan heikko lujuus sekä häiriintymisherkkyys. Stabiloidun savikerroksen päällä tulee välttää turhaa liikkumista ennen massan riittävää lujittumista. Tarvittaessa stabiloidusta savesta rakennetun suodatinkerroksen sekoittuminen pohjamaan kanssa estetään käyttämällä kuitukangasta kerroksen alapinnassa. Työ on toteutettava siten, ettei pohjamaahan muodostu painumia eikä uria.

Stabiloidun savikerroksen rakentamista saadaan tehdä, kun stabiloitu massa on niin jäykkää, että se kestää käytettävien työkoneneiden painon.

Massastabiloitu savi voi lämpiminä päivinä kuivua liian nopeasti, jolloin rakenteeseen syntyy halkeamia. Tämä estetään joko kastelemalla kerroksen pintaa tai suojaamalla tiivistetty pinta suojapeitteellä. Jälkihoitoa jatketaan olosuhteista riippuen 3 päivää.

Työsuojaelu

Työmaalla saa liikkua vain työnmaan henkilökunta. Ulkopuoliset henkilöt tulee poistaa työmaalta. Lisäksi työmaa on merkittävä selvästi maastoon.

Stabilointityössä käytettävän kaluston tulee olla työturvallisuusmääräysten mukainen ja työntekijöiden työhönsä perehtyneitä. Ennen stabilointityön aloittamista on tarkistettava henkilökohtaisten suojainten saatavuus sekä koneiden ja laitteiden kunto stabilointityöstä vastaavan urakoitsijan kanssa. Työmaalle on järjestettävä kasvojen ja käsien huuhtelumahdollisuus puhtaalla vedellä.

Massastabiloitavaa savea kaivettaessa tai sideainetta sekoitettaessa in situ huolehditaan, ettei kaivinkone ole liian lähellä kaivannon reunaa. Työntekijöiden turhaan liikkumista kaivannossa tai sen reunan lähistöllä tulee välttää. Syvissä (putki)kaivannoissa on noudatettava suunnittelijan tekemää tuentasuunnitelmaa.

Stabilointityön aikana on varmistettava, että työssä käytetään tarvittavia henkilökohtaisia suojaimia kuten hengitys-, kuulo- ja silmäsuojaimia sekä suojavaatetusta.

Jos sideaine on voimakkaasti pölyävää, estetään pölyn leviäminen esimerkiksi peitteellä tai sideaine syötetään putkistoa pitkin suoraan sekoittimeen maan alle.

Stabilointityön aikana varotaan vahingoittamasta ympäristöä, alueelle jääviä rakenteita ja kasvillisuutta tai alueella olevia johtoja ja kaapeleita.

2000 LIIKENNEVÄYLÄTYÖT

TYÖVAIHEJAOTTELU

2300	KUIVATUS- JA RUMPUTYÖT
2400	POHJANVAHVISTUS
2450	Muut pohjanvahvistustoimenpiteet
2457	Alusrakenteen parantaminen
2500	PENGERRYYS
2540	Erikoispenkereiden teko
2546	Meluvalli uusiomateriaaleista
2600	PÄÄLLYSRAKENNETYÖT
2610	Tukikerros
2611	Eristys-/suodatinkerros
2612	Jakava kerros
2620	Kantava kerros
2624	Pyöräteiden, jalkakäytävien ja raittien kantava kerros

2000 LIIKENNEVÄYLÄTYÖT

2300 KUIVATUS- JA RUMPUTYÖT

MASSASTABILOITU SAVI RUMMUN ARINANA JA LOPPUTÄYTTÖNÄ

Perustaminen

Rummun perustaminen tehdään tämän asiakirjan työvaiheen 3400 mukaisesti. Lisäksi noudatetaan KT97:n kohtaa 3400.

Laatuvaatimukset

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materiaalivaatimukset

Rumpujen materiaalivaatimukset on esitetty KT97 kohdassa 2300.

Massastabiloinnissa käytettävä savi, sideaine(et) sekä stabiloitu massa eivät saa vahingoittaa kaivannossa eikä sen läheisyydessä olevia laitteita eikä rakenteita tai ympäristöä.

Stabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Rakennevaatimukset

Massastabiloidusta savesta rakennetun rumpuarinan lujuusvaatimus sekä sallitut poikkeamat annetaan suunnitelmissa. Mikäli lujuusvaatimuksia ei ole annettu suunnitelmissa, käytetään taulukossa 0001 rakenteelle esitettyä lujuusvaatimusta.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Sideaine(id)en kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Massastabiloidusta arinasta laaditaan aluekohtaiset tarkepiirustukset, joista ilmenee stabiloidun massan sijainti ja numerointi.

Rummun sijainti ja korkeusasema todetaan työn aikana tehtävien tarkemittausten avulla.

Lujuus todetaan 10 metrin välein jokaisesta eri täyttövaiheesta, kuitenkin aina vähintään yksi mitta.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella rakennetun rumpuarinan rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita sekä KT-97 kohtaa 2300.

Lopputäyttö

Lopputäyttö tehdään tämän asiakirjan työvaiheen 3550 (Lopputäyttö) ohjeita noudattaen. Lisäksi noudatetaan KT97:n kohtaa 3550.

Laatuvaatimukset

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloinnissa käytettävä savi, sideaine(et) sekä stabiloitu massa eivät saa vahingoittaa kaivannossa eikä sen läheisyydessä olevia laitteita eikä rakenteita tai ympäristöä.

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Massastabiloidun saven kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Rakennevaatimukset

Massastabiloidusta savesta tehdyn rummun lopputäytön lujuustaso ei saa olla liian suuri, jotta massan kaivettavuus pysyy riittävänä. Stabiloidun massan lujuustaso annetaan suunnitelmissa. Mikäli lujuusvaatimuksia ei ole annettu suunnitelmissa, käytetään taulukossa 0001 rakenteelle esitettyä lujuusvaatimusta.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Sideaine(id)en kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Massastabiloidusta arinasta laaditaan aluekohtaiset tarkepiirustukset, joista ilmenee stabiloidun massan sijainti ja numerointi.

Lujuus ja kantavuus todetaan 10 metrin välein jokaisesta eri täyttövaiheesta, kuitenkin aina vähintään yksi mittaus.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella rakennetun rumpuarinan rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita sekä KT97 kohtaa 2300.

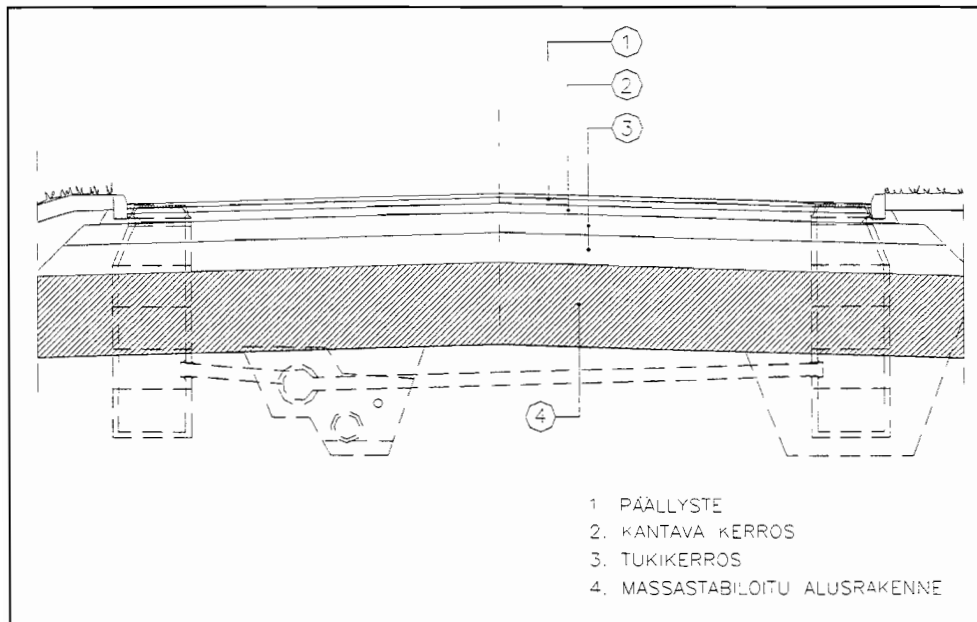
2400 POHJANVAHVISTUS

2450 MUUT POHJANVAHVISTUSTOIMENPITEET

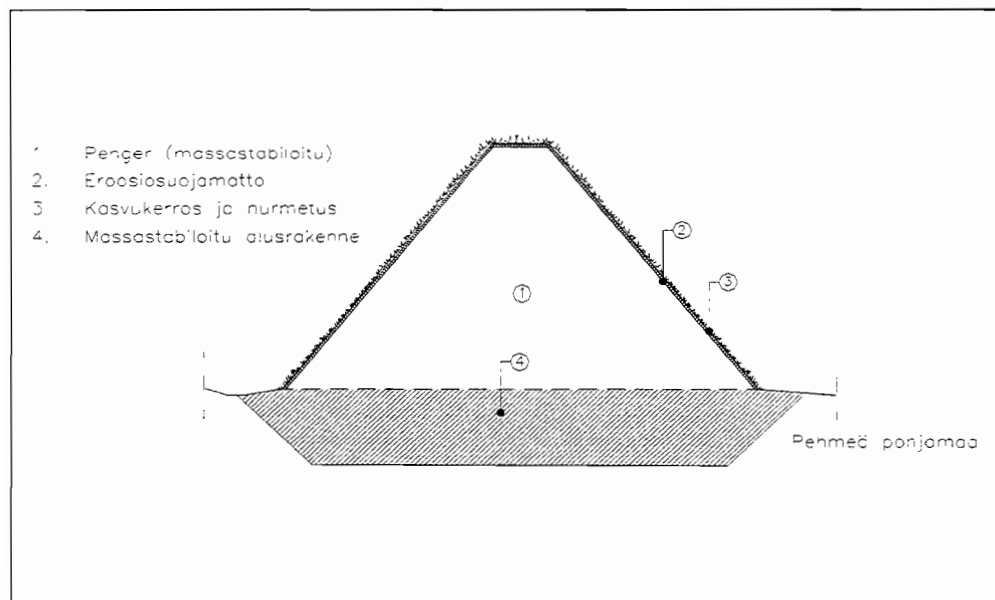
2457 Alusrakenteen parantaminen

ALUSRAKENNE MASSASTABILOIDULLA SAVELLA

Rakenneratkaisuja



Kuva 2401. Kadun alusrakenteen parantaminen massastabiloidulla savella.



Kuva 2402. Penkereen (meluvallin) alusrakenteen parantaminen massastabiloidulla savella..

Laatuvaatimukset

Kadun tai meluvallin alusrakennetta parannettaessa heikkoa pohjamaata vahvistetaan korvaamalla osa heikon pohjamaan yläkerroksista massastabiloidulla savella.

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Massastabiloidun kerroksen alapuoliselle pohjamaalle määrätään suunnitelmissa tavoitekantavuus. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä alusrakenteelle vastaavissa rakenteissa määrättyjä laatuvaatimuksia.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Massastabiloidun saven kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Massastabiloidun kentän sijaintipoikkeama teoreettisesta saa olla 0,1 m, ellei suunnitelmissa ole muuta määrätty.

Massastabiloidun kerroksen ulottuminen suunnitelman mukaiseen tasoon todetaan mittaamalla kaivannon syvyys. Mittavaatimukset ja toleranssit annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä maaleikkaukselle annettuja mittavaatimuksia.

Leikkauksen luiskat tehdään suunnitelmien mukaan. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä maaleikkaukselle annettuja mittavaatimuksia.

Rakennevaatimukset

Massastabiloidulla savella parannetun alusrakenteen tavoitelujuus ja sallitut poikkeamat annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan taulukossa 0001 alusrakenteelle annettuja lujuusvaatimuksia.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, otetaan savesta näytteitä taulukon 0001 mukaisesti.

Sideaineiden kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun kerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Työohjeita

Parannettaessa alusrakennetta massastabiloidulla savella noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

Alusrakenteen kaivutyön yhteydessä poistettavan pohjamaan kantavuusluokkaa verrataan suunnitelmissa esitettyyn kantavuusluokkaan. Mikäli ilmenee poikkeamia, selvitetään niiden vaikutus suunnitelmaan.

Työsuojaus

Kaivutyön yhteydessä on huolehdittava, ettei kaivinkone ole liian lähellä kaivannon reunaa. Mittaushenkilöiden ym. työntekijöiden ollessa kaivannossa on kiinnitettävä riittävästi huomiota kaivannon luiskin vakavuuteen.

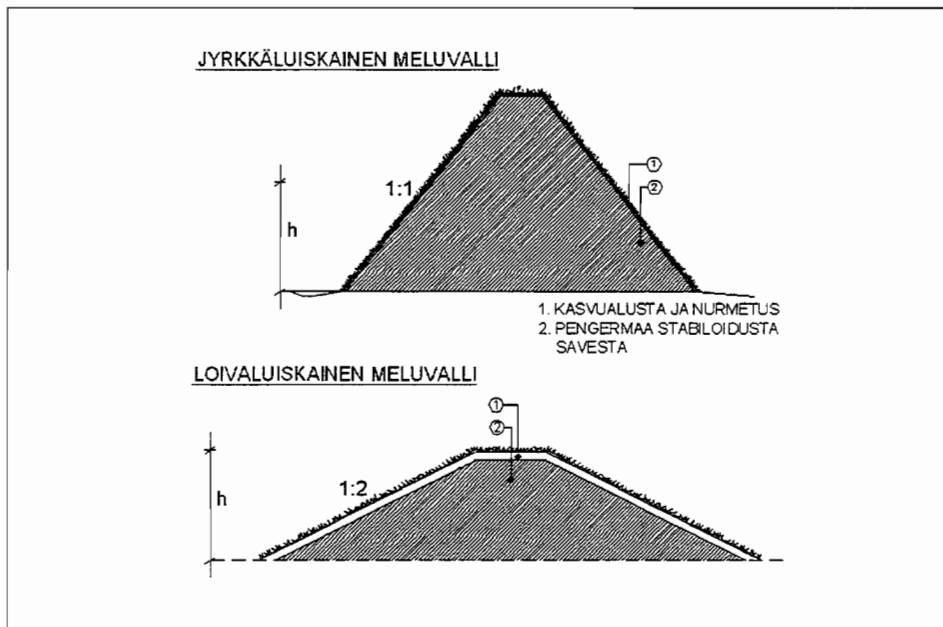
2500 PENGERRYYS

2540 ERIKOISPENKEREIDEN TEKO

2546 Meluvalli uusiomateriaaleista

MASSASTABILOITU SAVI

Rakenneratkaisuja



Kuva 2501. Meluvallin rakentaminen massastabiloidulla savella.

Laatuvaatimukset

Meluvallin täytteenä käytettävän massastabiloidun saven tulee täyttää KT97:ssä maapenkereelle asetetut laatuvaatimukset.

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaan.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Penkereen sallittu korkeustason poikkeama annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, käytetään KT97:ssä maapenkereelle annettuja korkeustason mittavaatimuksia.

Rakennevaatimukset

Stabiloidun massan sisäinen leikkauslujuusvaatimus annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, käytetään tässä asiakirjassa taulukossa 0001 maapenkereelle esitettyjä lujuusvaatimuksia.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Sideaine(id)en kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella rakennetun meluvallin rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

Kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus valitaan sen mukaan, millaista tiivistyskalustoa (sorkkajyrää) tiivistyksessä käytetään, jotta haluttu tiiveys saavutetaan.

Muu rakentaminen tehdään soveltamalla KT97:ssä kohdassa 2510 esitettyjä työohjeita.

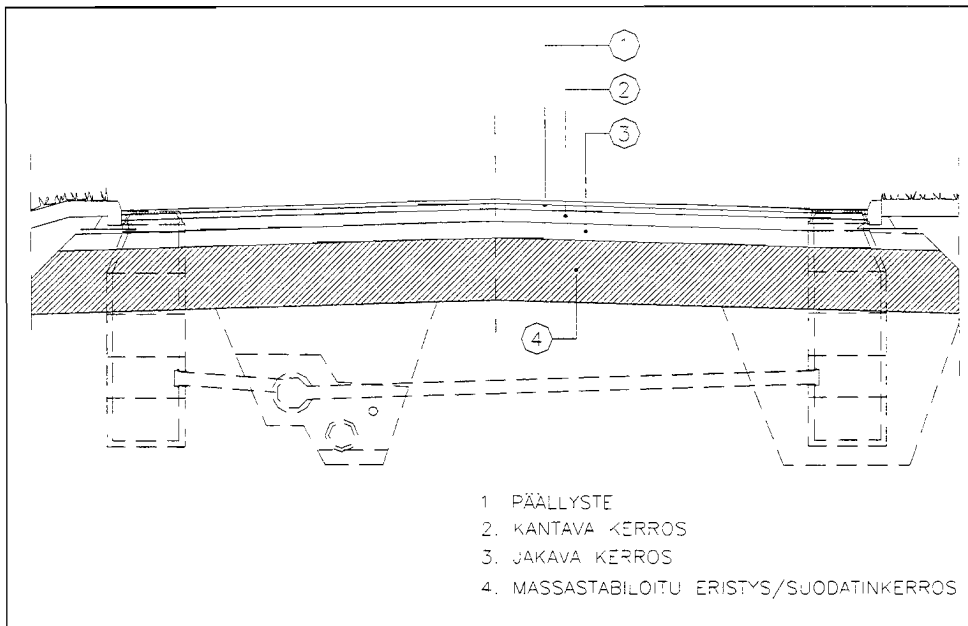
2600 PÄÄLLYSRAKENNETYÖT

2610 TUKIKERROS

2611 Eristys/suodatinkerros

MASSASTABILOITU SAVI

Rakenneratkaisu



Kuva 2601. Eristys/suodatinkerroksen rakentaminen massastabiloidulla savella.

Laatuvaatimukset

Massastabiloidulla savella rakennetun suodatinkerroksen on täytettävä suunnitelmien mukainen muoto ja lujuus sekä kantavuus.

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Valmiin suodatinkerroksen pinnan suurin sallittu korkeuspoikkeama annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, käytetään KT97:ssä esitettyjä suodatinkerroksen mittavaatimuksia.

Rakenneosavaatimukset

Massastabiloidusta savesta rakennetun suodatinkerroksen tulee täyttää suunnitelmien mukainen tavoitelujuus ja kantavuus. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan taulukossa 0001 suodatinkerrokselle annettuja lujuus- ja kantavuusvaatimuksia.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan KT97:ssä taulukossa 2601 suodatinkerrokselle esitettyjen näytemäärien mukaisesti, jollei suunnitelmissa ei ole esitetty muuta.

Suodatinkerroksen poikkileikkauksen mitat todetaan työn aikana tehtävin tarkemittauksin 20 metrin välein.

Sideaineiden kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

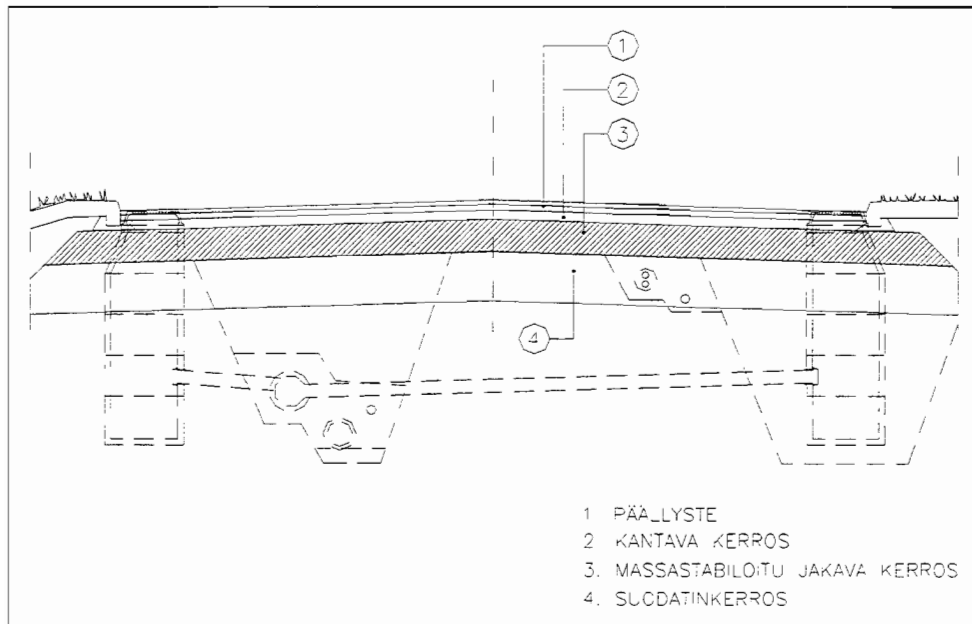
Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella rakennetun suodatinkerroksen rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

Suodatinkerros tehdään joko yhtenä tai useampana kerroksena paksuudesta ja tiivistyskalustosta riippuen. Kerrospaksuudet valitaan sen mukaan, millaista tiivistyskalustoa (sorkkajyrää) tiivistyksessä käytetään, jotta haluttu tiiveys saavutetaan. Tiivistämisessä noudatetaan KT97:ssä esitetyn taulukon 2501 mukaisia kerrospaksuuksia.

Suodatinkerroksen päällä saa liikkua ainoastaan sen levitykseen ja tiivistykseen käytettävällä kalustolla. Kalusto on valittava ja työ toteutettava niin, että suodatinkerroksen sekoittuminen pohjamaan kanssa voidaan estää eikä painumia ja uria pohjamaahan muodostu.

2612 Jakava kerros**MASSASTABILOITU MAA-AINES****Rakenneratkaisuja**

Kuva 2602. Jakavan kerroksen rakentaminen massastabiloidulla savella.

Jakava kerros ja suodatinkerros voidaan rakentaa myös yhdistettynä, jolloin samaa stabiloitua massaa käytetään koko tukikerroksessa.

Laatuvaatimukset

Massastabiloidulla savella rakennetun jakavan kerroksen on täytettävä suunnitelmien mukainen muoto, lujuus ja kantavuus.

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Massastabiloitavalla savella rakennetun jakavan kerroksen pinnan suurin sallittu poikkeama annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä jakavalle kerrokselle annettuja mittavaatimuksia.

Rakenneosavaatimukset

Jakavan kerroksen tavoitelujuus annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, leikkauslujuuden tulee täyttää taulukossa 0001 annetut vaatimukset.

Mikäli suunnitelmissa ei ole mainittu tavoitekantavuutta, käytetään KT97:ssä jakavalle kerrokselle annettuja kantavuusvaatimuksia.

Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, on keskimääräinen tiiviysvaatimus 95 %. Pienin sallittu yksittäinen koetulos on 92 %.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan KT97:ssä taulukossa 2601 jakavalle kerrokselle esitettyjen näytemäärien mukaisesti, jollei suunnitelmissa ei ole esitetty muuta.

Jakavan kerroksen poikkileikkauksen mitat todetaan työn aikana tehtävin tarkemittauksin 20 metrin välein.

Sideaineiden kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Jakavan kerroksen lujuus, tiiveysaste ja kantavuus todetaan poikkileikkauksittain 20 metrin välein siten, että poikkileikkauksesta tehdään kaksi mittausta.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella rakennetun jakavan kerroksen rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

Jakava kerros rakennetaan yhtenä tai useampana kerroksena kerrospaksuudesta ja tiivistyskalustosta riippuen. Tiivistystyö tehdään tarkoitukseen parhaiten soveltuvalla jyrällä, yleensä sorkkajyrällä. Tiivistämisessä noudatetaan KT97 taulukon 2501 mukaisia kerrospaksuuksia ja tiivistysohjeita ellei suunnitelmissa ole määrätty toisin.

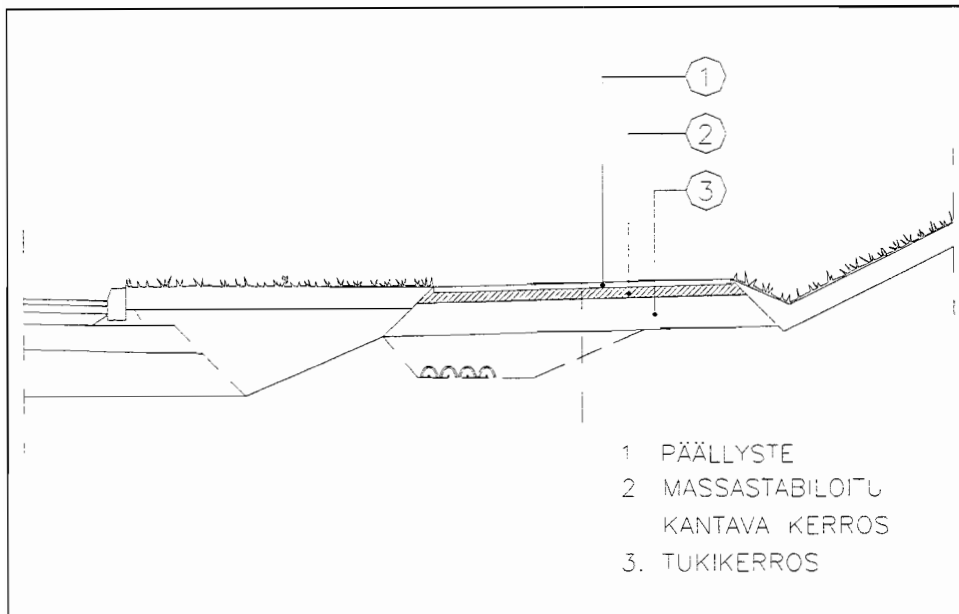
Massastabiloidun jakavan kerroksen päällä tulee välttää turhaa liikkumista. Työ on toteutettava siten, ettei pohjamaahan muodostu painumia eikä uria.

2620 KANTAVA KERROS

2624 Pyöräteiden, jalkakäytävien ja raittien kantava kerros

MASSASTABILOITU SAVI

Rakenneratkaisu



Kuva 2603. Pyöräteiden ja jalkakäytävien sekä raittien kantavan kerroksen rakentaminen massastabiloidulla savella.

Laatuvaatimukset

Pyörätien, jalkakäytävän ja raitin massastabiloidulla savella rakennetun kantavan kerroksen tulee täyttää suunnitelmissa asetettu muoto ja tavoitelujuus sekä kantavuusvaatimukset.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Massastabiloitavalla savella rakennetun pyörätien, jalkakäytävän tai raitin kantavan kerroksen tulee täyttää ne mittavaatimukset, jotka kantavalle kerrokselle kyseisessä katuluokassa KT97:ssä on esitetty. Poikkeamat näistä vaatimuksista esitetään suunnitelmissa.

Rakenneosavaatimukset

Kantavan kerroksen tavoitelujuus annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, leikkauslujuuden tulee täyttää taulukossa 0001 annetut vaatimukset.

Mikäli suunnitelmissa ei ole mainittu tavoitekantavuutta, käytetään KT97:ssä jakavalle kerrokselle annettuja kantavuusvaatimuksia.

Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, on keskimääräinen tiiviysvaatimus 97 %. Pienin sallittu yksittäinen koetulos on 92 %.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan KT97:ssä taulukossa 26 01 kantavalle kerrokselle esitettyjen näytemäärien mukaisesti, jollei suunnitelmissa ei ole esitetty muuta.

Kantavan kerroksen poikkileikkauksen mitat todetaan työn aikana tehtävin tarkemittauksin 20 metrin välein.

Sideaineiden kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Kantavan kerroksen tiiveysaste ja kantavuus todetaan poikkileikkauksittain 40 metrin välein siten, että poikkileikkauksesta tehdään kaksi mittausta.

Työohjeita

Massastabiloidulla massalla rakennetun kantavan kerroksen rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

3000 VESIHUOLLON MAATYÖT

TYÖVAIHEJAOTTELU

3400 JOHTOLINJAN PERUSTAMINEN

3470 Erikoismenetelmät

3473 Arina muista uusiomateriaaleista

3500 TÄYTTÖ- PENGERRYSTYÖT

3550 Lopputäyttö

3546 Meluvalli uusiomateriaaleista

3000 VESIHUOLLON MAATYÖT

3400 JOHTOLINJAN PERUSTAMINEN

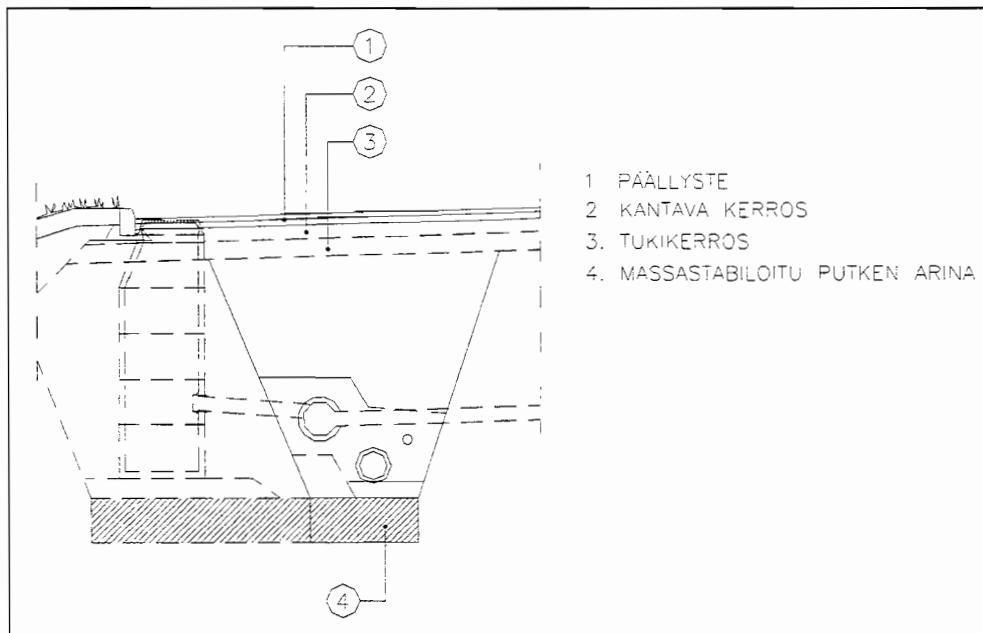
3470 ERIKOISMENETELMÄT

3473 Arina muista uusiomateriaaleista

MASSASTABILOITU SAVI

Rakenneratkaisuja

Massastabiloidulla savella tehty johtolinjan arina rakennetaan kuvan 3401 mukaisesti. Stabiloitua massaa voidaan käyttää kaivojen, venttiilien ja muiden laitteiden perustamisessa soveltaen samaa perustamistapaa kuin johtolinjoilla.



Kuva 3401. Massastabiloitu johtolinjan arina.

Laatuvaatimukset

Vesihuollon maatyöt tulee tehdä niin kuin ne KT97:ssä kohdassa 3000 on määrätty tehtäväksi.

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materialivaatimukset

Massastabiloinnissa käytettävä savi, sideaine(et) sekä stabiloitu massa eivät saa vahingoittaa kaivannossa eikä sen läheisyydessä olevia laitteita eikä rakenteita tai ympäristöä.

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Massastabiloidun kentän sijaintipoikkeama teoreettisesta on 0,1 metriä.

Muutoin noudatetaan vesihuollon maatoista yleisesti annettuja määräyksiä.

Rakennusosavaatimukset

Stabiloidusta massasta rakennetun johtolinjan arinan tavoitelujuus sekä kantavuusvaatimus annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, noudatetaan taulukossa 0001 annettuja leikkauslujuus- ja kantavuusvaatimuksia.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, todetaan saven kelpoisuus KT97:ssä taulukossa 2601 suodatinkerrokselle esitettyjen näytemäärien mukaisesti.

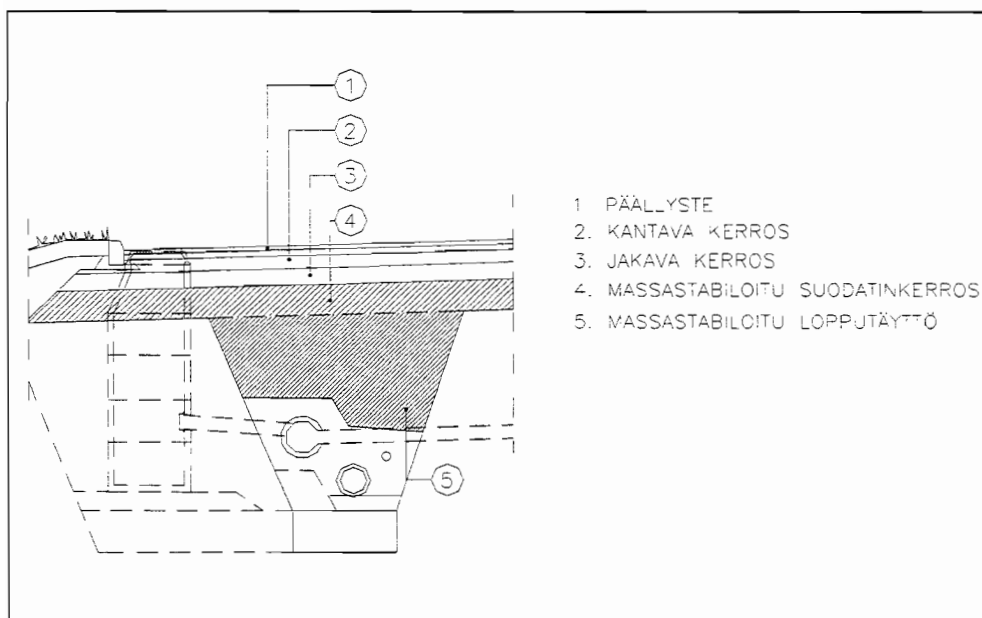
Sideaineiden kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Massastabiloidusta arinasta laaditaan aluekohtaiset tarkepiirustukset, joista ilmenee stabiloidun massan sijainti ja numerointi.

Työohjeita

Massastabiloidulla massalla rakennetun putkiarinan rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

3500 TÄYTTÖ- JA PENGERRYSTYÖT**3550 LOPPUTÄYTTÖ****MASSASTABILOITU SAVI****Rakenneratkaisuja**

Kuva 3402. Massastabiloidulla savella tehty lopputäyttö.

Laatuvaatimukset

Massastabilointi tehdään erillisessä stabilointisuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloinnissa käytettävä savi, sideaine(et) sekä itse stabiloitu massa eivät saa vahingoittaa kaivannossa eikä sen läheisyydessä olevia laitteita eikä rakenteita tai ympäristöä.

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty muuta, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan on oltava hyvin tiivistyvää. Stabiloidun massan lujuustaso saa olla liian suuri, jotta myöhemmin tapahtuva aukikaivu on mahdollista.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Massastabiloidun kentän sijaintipoikkeama teoreettisesta on 0,1 metriä.

Muutoin noudatetaan vesihuollon maatöistä yleisesti annettuja määräyksiä.

Lopputäyttö liikennöitävän alueen ulkopuolella

Kaivanto tulee täyttää sellaiseen korkeuteen, että täyttö myöhemmin tiivistyessään asettuu suunnitelman mukaiseen korkeuteen tai, mikäli tällaista ei ole esitetty, ympäröivän maanpinnan korkeuteen.

Rakenneosavaatimukset

Lopputäyttö liikennöitävällä alueella

Lopputäytön tavoitelujuus ja kantavuusvaatimus annetaan suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan taulukossa 0001 annettuja leikkauslujuus- ja kantavuusvaatimuksia.

Stabiloitu massa tiivistetään kerroksittain 90 % tiiviysasteeseen ja ulotetaan liikennealueen rakennekerrosten alapintaan.

Massastabiloidun massan lujuustaso valitaan siten, että putkien kaivaminen auki on myöhemmin mahdollista.

Lopputäyttö liikennöitävän alueen ulkopuolella

Liikennöitävän alueen ulkopuolella voidaan lopputäytön tiivistys jättää tekemättä, mikäli suunnitelmissa on näin esitetty

Massastabiloidun massan lujuustaso valitaan siten, että putkien kaivaminen auki on myöhemmin mahdollista.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, otetaan runko-aineesta näytteitä taulukon 0001 mukaisesti.

Sideaine(id)en kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella tehdyn putken lopputäytön rakentamisessa noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

6000 VIHERTYÖT

TYÖVAIHEJAOTTELU

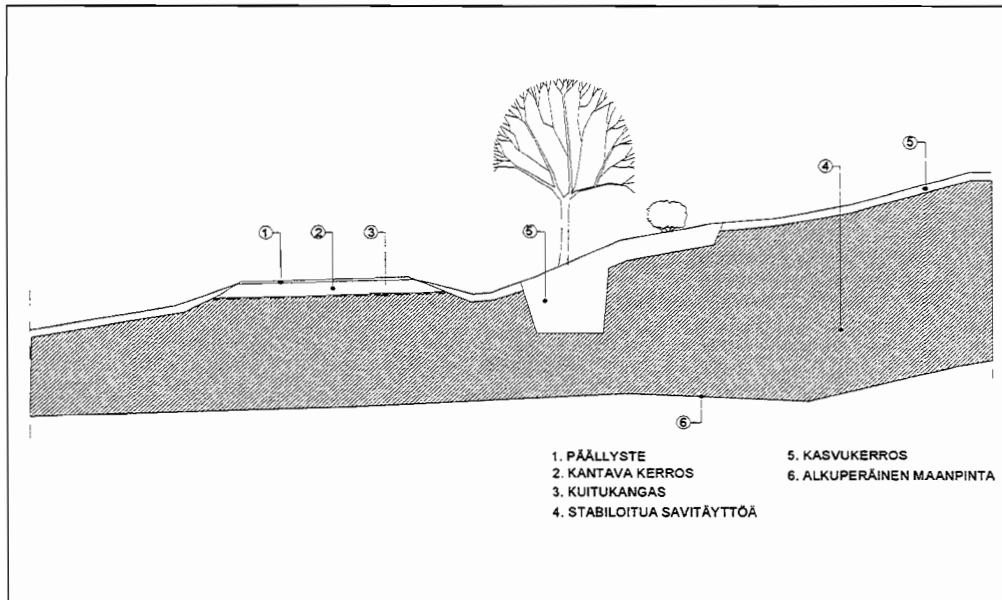
6500 TÄYTTÖ JA PENGERRYKS

6000 VIHERTYÖT

6500 TÄYTTÖ JA PENGERRYKS

MASSASTABILOITU SAVI

Rakenneratkaisu



Kuva 6501. Massastabiloidulla savella tehty piha- ja maisematäyttö.

Laatuvaatimukset

Viheralueiden täyttö ja pengerryks tehdään massastabiloidulla savella suunnitelmien mukaan.

Materiaalivaatimukset

Massastabiloinnissa käytettävä savi, sideaine(et) sekä stabiloitu massa eivät saa sisältää kasveille haitallisia aineita tai hajoavia aineita.

Massastabiloitavan saven on täytettävä sille suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan KT97:ssä annettuja materiaalivaatimuksia.

Sideaine(id)en laatuvaatimukset määritellään stabilointisuunnitelmassa. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 annettuja materiaalivaatimuksia.

Stabiloidun massan kelpoisuus todetaan erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli tutkimusohjelmaa ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä materiaalivaatimuksia.

Mittavaatimukset

Stabiloidusta massasta rakennetun penkereen kokoonpuristumisesta ei saa aiheutua kasvualustalle KT97:ssä työvaiheen kohdassa 6700 mainittuja sallitut poikkeamat ylittäviä epätasaisuuksia.

Rakennevaatimukset

Massastabiloidun saven tavoitelujuus ja sallitut poikkeamat annetaan suunnitelmissa.

Laadun toteaminen

Massastabiloitavan saven kelpoisuus todetaan suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Mikäli suunnitelmissa ei ole muuta mainittu, otetaan runko-aineesta näytteitä taulukon 0001 mukaisesti.

Sideaine(id)en kelpoisuus todetaan stabilointisuunnitelmassa esitetyillä menetelmillä. Mikäli muuta ei ole esitetty, noudatetaan tässä asiakirjassa kohdassa 0000 esitettyjä menetelmiä.

Massastabiloidun savikerroksen lujittuminen todetaan työn jälkeen erillisen tutkimusohjelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty tutkimusohjelmaa, suoritetaan valvontatutkimuksia tässä asiakirjassa kohdassa 0000 mainittujen vaatimusten mukaan.

Työohjeita

Massastabiloidulla savella tehtävissä piha- maisemointitöissä noudatetaan ensisijaisesti tämän asiakirjan kohdassa 0000 esitettyjä työohjeita.

Julkaisija HELSINGIN KAUPUNKI KIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO PL 2202 00099 HELSINGIN KAUPUNKI PUHELIN (09) 1691, FAX (09) 169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo	Julkaisusarja, numero ja julkaisu-aika Geoteknisen osaston julkaisut 82/2000 Marraskuu 2000
Tekijä(t) Harri Mäkelä Harri Höynälä Hannu Halkola Ari Kettunen	Projektinnumero(t) 5426 Julkaisija HELSINGIN KAUPUNKI KIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO
Nimike MASSASTABILOITUJEN YLIJÄÄMÄSAVIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA, SUUNNITTELUOHJEET, TYÖSELITYKSET JA LAATUVAATIMUKSET	
Tiivistelmä Suunnitteluohjeet sekä työselitykset ja laatuvaatimukset perustuvat kehitysprojektin ”Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakenteissa” tuloksiin sekä sitä edeltäneisiin tutkimuksiin ”Ylijäämäsaveen massastabilointi” ja ”Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla”. Em. tutkimukset on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekniikan osastolla yhteistyössä Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston kanssa. Selvitysten ja tutkimusten tarkoituksena on ollut kehittää ylijäämäsaveen hyötykäyttöä maarakenteissa massastabiloimalla savea. Viikin koerakentamisprojektissa selvitettiin massastabiloidun saveen soveltuvuutta katurakenteen tukikerrokseen Viikin ekorakennusalueella Tilanhoitajankaarella. Ennen kohteen rakentamista Viikin savea tutkittiin Lohja Rudus Oy:n laboratoriossa sekä Oulun Yliopiston geotekniikan laboratoriossa. Laajoissa ennakkokokeissa selvitettiin sopivat sideaineet ja sideainemäärät sekä tutkittiin näillä aineilla stabiloitujen ja lujittuneiden koekappaleiden kestävyys. Suunnitteluohjeissa käsitellään massastabiloitujen saven käyttökohteita ja rakenteita, yleisiä suunnitteluperusteita ja -kriteereitä sekä tyyppiratkaisuja. Yleinen työselitys ja laatuvaatimukset – liite on laadittu noudattaen KT-97 ulkoasua ja jäsentelyä. Tässä osassa käsitellään massastabiloitujen rakenteiden rakenneratkaisuja sekä niiden laatu-, materiaali-, mitta- ja rakennevaatimukset sekä laadun toteaminen. Työselityksessä annetaan lisäksi työohjeita sekä käsitellään työsuojelua koskevia asioita. Massastabilointimenetelmän alkuvaiheessa tulee aina tehdä ennakkokokeet, joilla selvitetään käytettävä(t) sideaine(et) ja niiden määrät. Sideaine- ja lujittumistutkimusten perustana ovat koekappaleiden lujuustavoitteet, jotka voivat vaihdella käyttökohteesta ja rakenneosasta riippuen paljonkin. Menetelmän käytön alkuvaiheessa on kiinnitettävä huomiota riittävän jäätymis-sulamis-kestävyyden saavuttamiseen, koska yksi kriittisistä tekijöistä on stabiloidun rakenteen pitkäaikais-toimivuus riittävällä jäätymiskestävyydellä. Stabiloitu savirakenne sisältää huomattavan paljon vettä, joka jäätyessään laajenee ja saattaa rikkoa sisäistä rakennetta. Monissa vaatimattomimmissa käyttökohteissa sidotun kerroksen halkeilu on kuitenkin sallittua. Sidotujen rakenteiden mitoitus perustuu materiaalin leikkaus- ja puristuslujuuksien käyttöön. Mitoitusperiaatteet ovat vastaavat kuin maa- ja katurakenteiden yleiset mitoitusperiaatteet. Sideaineiden käytössä on lisäksi aina tarkistettava käytettävien aineiden ympäristökelpoisuus kyseisellä alueella ja rakenteessa. Sidotun heikosti vettä läpäisevän kerroksen tekeminen sitomattoman kantavan kerroksen alle poikkeaa perinteisestä kadun rakennekerrosten tekemisestä karkearakeisilla maa-aineksilla. Savikadun tutkimusten perusteella kantavaan kerrokseen kertyy ja pidättyy ilmeisesti vettä, joka talvella toistuvasti jäätyessään ja sulaessaan löyhdyttää sitomatonta kantavaa kerrosta. Ilmiöstä ei ole kahden seurantavuoden kuluessa tullut esille rakenteellisia ongelmia ja mitatut kantavuudet ovat olleet yli vaadittujen arvojen.	
Avainsanat kaivumassat, hyötykäyttö, katurakenteet, savi, massastabilointi, sideaineet	
ISSN 0788-6209	ISBN 951-718-491-3 Luokitus (UDK) 624.13
Kieli suomi, ruotsi ja eng.tiivistelmä	Sivuja 104 s.

Published by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION P.O Box 2202 00099 THE CITY OF HELSINKI FINLAND PHONE +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo	Series title, number and date Geoteknisen osaston julkaisut 82/2000 November 2000	
Author(s) Harri Mäkelä Harri Höynälä Hannu Halkola Ari Kettunen	Project number(s) 5426	Commissioned by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION
Title USE OF MASS-STABILIZED SURPLUS MASSES, DESIGN INSTRUCTIONS, THE GENERAL WORK SPECIFICATIONS AND QUALIFICATION REQUIREMENTS		
Abstract The design instructions and also the general work specifications and qualification requirements are based on the results of the project "Massastabiloitujen kaivumassojen hyötykäyttö katurakentamisessa". Additionally, the results from the former projects "Ylijäämänsaven massastabilointi" and "Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla" have also been taken into consideration. The Geotechnical Division of the City of Helsinki in co-operation with the Public Works Department of the City of Helsinki performed all the investigations. The aim of these investigations was to develop the utilization of surplus clay masses by mass-stabilization. The suitability of mass-stabilized clay for the support layer of a road was explored by the test structures at the eco-construction area in Viikki in Helsinki. Before construction work the clay was investigated at the laboratory of Lohja Envirotec and also at the geotechnical laboratory of the University of Oulu. In these wide pre-tests the proper binders and the amounts of binder and also the strengths of the stabilized test samples strengthened by these binders were examined. The earth structures, the general design criteria and the type solutions are dealt with the design instructions. The general work specifications and quality requirements are written by following the layout of KT-97 –publication. This part handles the solutions and quality control of the mass-stabilized structure and also its quality, material, dimension and structure requirements. Additionally, the work specifications provide work instructions and deal with work safety factors. The mass-stabilization method requires always pre-tests at the laboratory at the beginning of a project. The proper binders and the suitable amounts of binder are estimated according to the results obtained from the pre-tests. The strength requirements of mass-stabilized test samples are the basis of pre-tests and the requirements may vary remarkable depending on the type and usage of the earth structure. One of the most critical factors considering the long-term strength of the mass-stabilized structure is its freezing-thawing strength. The stabilized clay structure consists of a notable amount of water, which may break the inner structure while freezing and expanding. The shear and compression strength are the basis of mass-stabilized structure dimensioning. The dimensioning principles are the same as for earth and road construction in general. The environmental qualification of the utilized binder must always be verified before its usage. The mass-stabilized clay layer with a low water-permeability built under the base course with a high water-permeability differs from the basic road construction. According to the investigations of Viikki's clay road, it seems that water gathers and restrains into the base course and can not properly penetrate through the mass-stabilized layer. Water freezes and thaws every winter and during the thawing period water loosens the unbound base course. Thus, during two-year monitoring period the phenomenon has not caused any structural problems and measured bearing capacities have been over the required values.		
Keywords digging masses, utilization, street construction, clay, mass-stabilization, binder		
ISSN 0788-6209	ISBN 951-718-491-3	Class (UDC) 624.13
Language Finnish, Swedish, Engl. Abstr.	Pages 104 p.	

GEOTEKNISEN OSASTON JULKAISUT 1(2)

1	<i>Anttikoski, Usko</i>	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	1973	*
2	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1973	*
3	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	1974	*
4	<i>Mäkinen, Reino</i>	Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella	1974	*
5	<i>Saarela, Matti</i>	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	1974	*
6	<i>Hartikainen, Jorma</i>	Kitkapaalujen kantavuus	1976	
7	<i>Petäjä, Jouko</i>	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	1977	
8	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Metrotunnelien injektointi	1977	*
9	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	1977	*
10	<i>Tikkanen, Heikki</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	1978	
11	<i>Arkima, Olli</i>	Kluuvin ruheen jäädytys	1978	*
12	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Puiset perustusrakenteet	1979	
13	<i>Havukainen, Jorma</i>	Voimalalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	1979	
14	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	1979	*
15	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Pohjavesitarkkailu -80	1980	*
16	<i>Anttikoski, Usko</i>	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	1979	*
17	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunneleihin	1981	
18	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiiliuimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	1981	*
19	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	1981	
20	<i>Vuola, Pekka</i>	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	1981	
21	<i>Havukainen, Jorma & Korhonen, Osmo</i>	Tonttialueiden maarakenteet	1981	
22	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	1981	
23	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiiliuimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	1982	
24	<i>Latvala, Ahti</i>	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	1982	
25	<i>Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Sulamäki, Antti</i>	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	1982	
26	<i>Halkola, Hannu</i>	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmaassa	1982	*
27	<i>Paavola, Pertti</i>	Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannus selvitys	1982	
28	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Maarakennusta koskeva mallityöselvitys	1982	*
29	<i>Gulin, Kai</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	1982	
30	<i>Halkola, Hannu</i>	Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	1982	
31	<i>Havukainen, Jorma</i>	Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	1983	
32	<i>Havukainen, Jorma</i>	Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	1983	
33	<i>Havukainen, Jorma</i>	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	1983	
34	<i>Salmelainen, Juha</i>	Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	1983	
35	<i>Havukainen, Jorma</i>	Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista	1983	
36	<i>Hytti, Pekka</i>	Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	1984	
37	<i>Leinonen, Jukka</i>	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	1984	
38	<i>Pirinen, Jussi</i>	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	1984	*
39	<i>Latvala, Ahti</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	1984	*
40	<i>Korpela, Jaakko & Schüller, Mikael</i>	Jäykkien liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	1984	
41	<i>Lahtinen, Eeva-Riitta</i>	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti)	1985	
42	<i>Korpi, Juha</i>	In Situ -kuormituskoe painumien määrittämiseksi	1985	
43	<i>Havukainen, Jorma</i>	Esirakentamisen kehittäminen	1985	
44	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Jäähdytysmenetelmän käyttö	1987	
45	<i>Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Latvala, Ahti</i>	Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	1987	*
46	<i>Julkenen, Arto</i>	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	1987	
47	<i>Hutri, Kaisa-Leena</i>	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	1988	
48	<i>Melander, Kari</i>	Puustin-heijarikairaus kairausmenetelmänä	1989	
49	<i>Leppänen, Mikko</i>	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhakaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	1989	
50	<i>Vähäaho, Ilkka & Ryhänen, Hannu</i>	Sulamiskonsolidaation vaikutukset savessa	1989	
51	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	1989	
52	<i>Koskela, Pekka</i>	Routastabiloinnin vaikutus ruoppausmassaan	1989	
53	<i>Saari, Mauri & Korhonen, Osmo</i>	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	1990	
54	<i>Saari, Mauri & Volanen, Niilo</i>	Ruoholahden koepaalutus	1990	
55	<i>Yrjänä, Jouni & Korhonen, Osmo</i>	Pystyjoitus Pikku-Huopalahdessa	1991	
56	<i>Niinimäki, Risto & Raudasmaa, Pekka</i>	Viikinmäen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliotutkimukset	1992	
57	<i>Nieminen, Jarmo & Johansson, Erik & Holopainen, Pekka</i>	Viikinmäen keskuspuhdistamon louhinnan aikainen kalliomekaaninen seuranta	1992	
58	<i>Ahola, Jukka & Viitala, Raimo</i>	Lujitus- ja tiivistysmäärät Helsingin pientunneleissa	1992	
59	<i>Ravea, Timmo & Korhonen, Osmo</i>	Helsingin tulvapadon rakentamisen edellytykset	1992	
60	<i>Taipale, Hannu & Korhonen, Osmo</i>	Paalutustärinän arviointi kirjallisuuden ja mittausten perusteella	1992	

GEOTEKNISEN OSASTON JULKAISUT 2(2)

61	<i>Karlstedt, Paul & Halkola, Hannu</i>	Ylijäämäsavien massastabilointi	1993
62	<i>Leiskallio, Antti & Lehtonen, Jouko</i>	Maankäytön geotekninen suunnittelu	1993
63	<i>Anttikoski, Usko & Kumar, Seppo & Saarelainen, Seppo</i>	Kalliokaivanto jätehuollossa (esiraportti)	1993
64	<i>Rekonen, Rita & Halkola, Hannu</i>	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla	1994
65	<i>Ulmala, Oja & Halkola, Hannu</i>	Puristin-porakonekairaus	1994
66	<i>Havukainen, Jorma</i>	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa (matkakertomus)	1995
67	<i>Korkeakoski, Pasi & Lehtonen, Jouko</i>	Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset	1996
68	<i>Puumalainen Niina & Havukainen Jorma</i>	Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä	1996
69	<i>Mehtälä, Jani & Korhonen, Osmo</i>	Puotilan metroaseman pohjavesivaikutusten arviointi numeerisilla menetelmillä	1998
70	<i>Nieminen, Jarmo & Anttikoski, Usko</i>	EU:n rahoitustuki Helsingin kaupungin tutkimustoiminnassa	1996
71	<i>Junnila, Antti & Lehtonen, Jouko</i>	Geotekninen kustannustiedosto, Geokuti 96	1996
72	<i>Wegelius, Arto & Viitala, Raimo</i>	Kallioluokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa	1996
73	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Savien stabilointi eri sideaineilla, kenttäkokeiden tulokset	1996
74	<i>Rantala, Kalle & Halkola, Hannu</i>	Paalun kantavuuden arviointi puristin-heijarikairalla	1997
75	<i>Wegelius, Arto & Holopainen, Pekka</i>	Paisuvat kalliosavet	1997
76	<i>Leivo, Pekka & Halkola, Hannu</i>	Maa- ja kallioperätietojen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintituloksista	1998
77	<i>Nauska, Jari & Havukainen, Jorma</i>	Esirakentaminen 1998	1998
78	<i>Svanström, Terhi & Raudasmaa, Pekka</i>	Pohjavesi Helsingin kaupunkiympäristössä: esiintyminen, käyttö, suojele ja vaikutus rakentamiseen	1998
79	<i>Pitkänen, Juha & Vähäaho, Ilkka & Raudasmaa, Pekka</i>	Puupaalujen rakenteellisen kantokyvyn tarkastaminen	1999
80	<i>Mikkola, Jannis & Viitala, Raimo</i>	Pitkien vesitunnelien sortumat ja lujitus	1999
81	<i>Mäkelä, Harri & Höynälä Harri & Halkola Hannu & Kettunen An</i>	Viikin savikatu	2000
82	<i>Mäkelä, Harri & Höynälä Harri & Halkola Hannu & Kettunen Ari</i>	Massastabiloitujen ylijäämäsavien käyttö maarakentamisessa, suunnitteluohjeet, työselitykset ja laatuvaatimukset	2000

GEO 10 K	Kallioperäkartta - Berggrundskarta 1:10.000, Helsinki - Helsingfors	1978
GEO 10 M	Maaperäkartta - Jordmänskarta - Geotechnical Atlas of Soil Deposits 1:10.000, Helsinki - Hels	1989

*) painos loppuunmyyty

a

Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto
geotekninen osasto
PL 2202
00099 HELSINGIN KAUPUNKI

Käyntiosoite: Malmin asematie 3 A, Helsinki 70
Vaihde (09) 1691, asiakaspalvelu (09) 169 4559, fax (09) 169 4555
Email geo@kv.hel.fi
http://www.kv.hel.fi/geo