

Tielaitos

Bitumistabilointi



BITUMISTABILOINTIVAIHTOEHDOT

RAKENNE 1

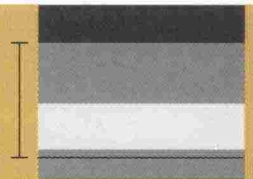
RAKENNE 2

Tielaitoksen
selvityksiä
25/1994

Suunniteltu
BST



Suunniteltu
BST



Helsinki 1994

Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
25/1994

Bitumistabilointi

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1994

ISBN 951-47-9388-9
ISSN 0788-3722
TIEL 3200235

2. painos

Oy Edita Ab
Helsinki 1998

Julkaisua myy:
Tielaitos, kirjasto
telefax 0204 44 2652



Tielaitos
TIEHALLINTO
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 44 150

Arto Kuskelin, Reijo Orama, Jorma Heikkilä, Heikki Vesa, Mats Reihe, Kalevi Toikkanen, Seppo Määttänen, Lars Forsten, Kari Hurtig, Markku Pienimäki, Petri Peltonen: Bitumistabilointi. Helsinki 1994, Tielaitos, Kehittämiskeskus, Valvonta ja laadunvalvonta, 45 s. +liitteet 3 s, ISBN 951 - 47 - 9388 - 9, ISSN 0788-3722, TIEL 320 0235

Aiheluokka: 42, 53

Asiasanat: bitumistabilointi, bitumiemulsio, vaahtobitumi, rakenteen parantaminen, mitoitus, suhteitus, päällystystyöt, työmenetelmät

Tiivistelmä

Perinteisesti peruskorjaus tehdään vaihtamalla hienontuneisiin rakennekerrokseen uudet materiaalit tai vain tekemällä niiden päälle lisäkerroksia. Hienontuneet kerrokset voidaan bitumistabiloinnilla useimmiten käyttää uudelleen. Stabiloinnilla kuormituskestävyys paranee perinteiseen menetelmään verrattuna usein halvemmalla ja ympäristön kannalta melkein aina edullisemmin. Eri menetelmien välisen kustannusvertailun tekeminen on suositeltavaa. Bitumistabilointi soveltuu joustavana rakenteena kohteisiin, joissa tietä ei aiota korjata routimattomaksi.

Bitumistabilointi ei pidätä vettä itseensä, mistä johtuen se ei myöskään menetä kuormituskestävyyttään roudan sulaessa.

Bitumistabilointi soveltuu kohteisiin joissa tasausviivaa ei voida nostaa paksuilla sitomattomilla kerroksilla tiehen rajoittuvien rakenteiden, tiealueen kapeuden tai luiskien jyrkkyyden johdosta.

Bitumistabilointi on nopea rakentaa. Liikenteen voi ohjata stabiloidulle kerrokselle välittömästi. Tämä lisää joustavuutta työn suunnitteluun ja usein vaikeasti toteutettavaan liikenteen ohjaukseen. Liikenteellisesti helpottava tekijä on myöskin tarvittavien materiaalsiirtojen vähäisyys. Työmaaliikenne jää noin kolmannekseen ja vanhoja materiaaleja hyödynnettäessä jopa senkin alle normaalirakentamiseen verrattuna.

Bitumistabilointi paikallasekoitusmenetelmällä voidaan tehdä joko käyttäen pelkästään jo tiellä olevia materiaaleja tai tuomalla paikalle kerros uutta mursketta, joka stabiloidaan. Edellä mainittujen työtapojen yhdistäminen on mahdollista riippuen vahvistustarpeesta.

Stabilointi voidaan tehdä myös asemasekoitteisena, jolloin valmis, asemalla sekoitettu massa levitetään tielle suunnitellun paksuisena kerroksena. 15 - 20 cm vahvuinen stabilointi on useimmiten riittävä.

Bitumistabilointi on varteenotettava vaihtoehto sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Vanhan päällysteen sisältämä sideaine voidaan hyödyntää, jolloin lisättävän sideaineen määrä pienenee. Niin ikään bitumistabiloitu kerros on tulevaisuudessa käytettävissä uudelleen, joten rakenteella on huomattava jäännösarvo.

Arto Kuskelin, Reijo Orama, Jorma Heikkilä, Heikki Vesa, Mats Reihe, Kalevi Toikkanen, Seppo Määttänen, Lars Forsten, Kari Hurtig, Markku Pienimäki, Petri Peltonen: **Bitumen stabilization**. Helsinki 1994, Finnosh National Road Administration, Quality Assurance, 45 p. + appendix 3 p, ISBN 951-47-9388-9, ISSN 0788-3722, TIEL 320 0235

Keywords: bitumen stabilization, bitumen emulsion, foam bitumen, renovation of structures, dimensioning, proportioning, pavement works, working methods

Abstract

Renovation of the structures is traditionally done so that new layers are build by changing layer materials or by rising the plane of the road. Using bitumenstabilization the layers which have been pulverized can be used again. By using stabilization the bearing capacity increases cheaper and almost always the most advantageous to the environment compared to the traditional method. It is recommended that cost comparison between different methods will be done. Bitumenstabilization - as it is a flexible structure - is suitable for cases where it is not planned to make the ground frost resistant.

The bitumen stabilized soil does not absorb water and so it does not loose the bearing capacity when the frozen ground melts.

Stabilization with bitumen is suitable for cases where it is not possible to raise the plane of the road at all or only very little because of forced points, road width or slope of inclination.

Bitumen stabilization is quick to construct. It is possible to lead traffic immediately to the stabilized layer. This increases flexibility of work planning and traffic leading which is often difficult to carry out. The site-traffic is about one third compared to traditional construction and even under that when using old materials.

It is possible to stabilize by using only the old materials which are on the road or by using a new layer of crushed aggregate which will be stabilized. It is possible to combine these two work methods if the strengthening is needed.

Stabilized mixture can also be done and mixed in a mass station. The ready-mixed mass is layed on the road. In most cases 15 - 20 cm stabilization is sufficient.

Stabilization with bitumen is worth attention in construction and in renovation. The quantity of needed binder decreases when bitumen in the old pavement can be used. Structure has a remarkable residual value because the stabilized layer can be used again in the future.

Alkusanat

Raskaasti kuormitettujen teiden sitomattomien kerrosten alhaiset kantavuudet ja hyvän kiviaineksen puute ovat vauhdittaneet eri stabilointitekniikoiden käyttöönottoa. Semettistabilointiohjeen lisäksi on tullut tarve tehdä vastaava ohje bitumilla stabiloimisesta.

Tämä julkaisu käsittelee eri bitumistabilointimenetelmiä ja niiden valintaperusteita. Ohjeessa on kerrottu tarvittavat esitutkimukset ja suhteituksessa huomioon otettavat asiat. Ohjeen mitoitussosa perustuu analyyttiseen mitoitukseen ja on tarkoitettu mitoitukseen siinä vaiheessa kun päätös bitumilla stabiloinnista on jo tehty.

Itse bitumistabilointiön suorituksesta on kerrottu sekä asemasekoitus- että paikallasekoitusmenetelmät. Lopuksi ohje keskittyy tehdyn työn laadunvalvonnassa ja työn jälkiseurannassa huomioon otettaviin asioihin.

Ohjeen on valmistellut työryhmä, johon kuuluivat Tielaitoksesta Jorma Heikkilä, Harry Karlsson, Arto Kuskelin, Reijo Orama, Mats Reihe, Kalevi Toikkanen ja Heikki Vesa, Lemminkäinen Oy:stä Lars Forstén ja Seppo Määttänen ja Neste Oy:stä Kari Hurtig, Tapio Nurmi ja Markku Pienimäki sekä VTT:stä Petri Peltonen. Ohjeen on kirjoittanut Arto Kuskelin.

Helsingissä kesäkuussa 1994

Kehittämiskeskus

1 JOHDANTO	11
<hr/>	
2 MÄÄRITELMÄT	11
<hr/>	
3 MENETELMÄT	12
<hr/>	
3.1 Vaahtobitumistabilointi (VBST)	12
3.2 Bitumiemulsiostabilointi (BEST)	12
3.3 Paikallasekoitusmenetelmä	13
3.4 Asemasekoitusmenetelmä	13
<hr/>	
4 MENETELMÄN VALINTAPERUSTEET	13
<hr/>	
4.1 Vaihtoehtoverailu	13
4.2 Laatuvaatimet	14
4.2.1 Kuormituskestävyys	14
4.2.2 Routimattomuus	14
4.2.3 Tierungon kuivatus	14
4.3 Materiaalit	14
4.4 Rakentamisolosuhteet	14
4.5 Kustannustarkastelu	15
4.5.1 Työkustannukset	15
4.5.2 Vuosikustannukset	15
4.6 Käyttöalue	16
<hr/>	
5 ESITUTKIMUKSET	17
<hr/>	
5.1 Yleistä	17
5.2 Maastotutkimukset	17
5.2.1 Vaurioinventointi	17
5.2.2 Pudotuspainolaitemittaukset	18
5.2.3 Rakennekerrosten tutkiminen	19
5.2.3.1 Kerrospaksuudet ja kivisyys	19
5.2.3.2 Näytteenotto	19
5.3 Laboratoriotutkimukset	19
5.3.1 Yleistä	19
5.3.2 Massan lujuuteen vaikuttavat tekijät ja tutkimusmenetelmät	20
5.3.2.1 Massan vesipitoisuus	20
5.3.2.2 Bitumin laatu	20
5.3.2.3 Bitumipitoisuus	21
5.3.2.4 Tiiviysaste	21
5.3.2.5 Kiviaineksen rakeisuus	22
5.3.2.6 Kiviaineksen humuspitoisuus	23
5.3.2.7 Tartukkeet	23
5.4 Jako toimenpideosuuksiin	23

6 SUHTEITUS	24
6.1 Yleistä	24
6.1.1 Kosteus	25
6.1.2 Bitumimäärä	25
6.1.3 Sideaineen laatu	26
6.1.4 Kiviaines	26
6.2 Massan valmistus	26
6.3 Koekappaleiden valmistus	27
6.3.1 Näytteen tiivistäminen	27
6.3.2 Näytteen kovettuminen	27
6.4 Koestus	28
6.4.1 Koossapysyvyys	28
6.4.2 Tarttuvuusluku	28
7 MITOITUS	28
7.1 Analyyttinen mitoitusmenetelmä	28
7.2 Mitoitusperiaatteet	30
7.2.1 Uuden tien rakentaminen	30
7.2.2 Vanhan tien parantaminen	30
8 TYÖN SUORITUS	34
8.1 Paikallasekoitus	34
8.1.1 Kalusto	35
8.1.1.1 Esi- ja sekoitusjyrsinnässä käytettävä kalusto	35
8.1.1.2 Stabilointikalusto	35
8.1.2 Rakennusmenetelmät	37
8.1.2.1 Rakenne 1	38
8.1.2.2 Rakenne 2	38
8.1.3 Esityöt	38
8.1.3.1 Esijyrsintä ja maakivien poisto	38
8.1.3.2 Sekoitusjyrsintä	38
8.1.3.3 Tien pinnan muotoilu	38
8.1.3.4 Murskeen lisäys	38
8.1.3.5 Tasaushöyläys	39
8.1.3.6 Tiivistys	39
8.1.3.7 Kastelu	39
8.1.3.8 Työjärjestys	39
8.1.3.9 Sideaineen sekoitus	39
8.1.3.10 Sään vaikutus stabilointiin	40
8.1.4 Muotoilu ja tiivistys	40
8.1.4.1 Alkutiivistys	40
8.1.4.2 Tasaus ja muotoilu	40
8.1.4.3 Lopputiivistys	41
8.2 Asemasekoitus	41
8.2.1 Kalusto	41
8.2.2 Esityöt	41

8.2.3	Massan valmistus ja levitys	42
8.2.4	Tiivistys	42
8.3	Jälkihoito ja päällystäminen	42
9	LAADUNVALVONTA	42
<hr/>		
9.1	Massanäytteet	42
9.2	Sideaineen laatu ja määrä	43
9.3	Rakeisuus- ja vesipitoisuus	43
9.4	Kerroksen paksuus	43
9.5	Tiivistys ja pinnan tasaisuus	44
9.5.1	Tiiviys	44
9.5.2	Tasaisuus	44
10	JÄLKISEURANTA	44
<hr/>		
10.1	Työn loppuraportti	44
10.2	Jälkiseuranta	45
10.3	Pitkäaikaisseuranta	45

Kuvaluettelo

Kuva 1:	Vuosikustannukset 10 % diskonttauksella.	16
Kuva 2:	Pudotuspainolaitteen periaate.	18
Kuva 3:	Suositus bitumistabiloinnissa käytettävälle kiviainekselle.	22
Kuva 4:	Vauriotutkimuksen ennakkoselvityksen esitystapa.	24
Kuva 5:	Tierakenteen kriittiset rasitukset	29
Kuva 6:	Malli APAS-ohjelman tulostuksesta.	31
Kuva 7:	Kohteen jakaminen jaksoihin mittaus- ja havaintotietojen perusteella.	32
Kuva 8:	Ohjelma ratkaisee käyttäjän antamia kriteerejä käyttäen jakson mitattuja suppiloita (vanhaa rakennetta) edustavan taipumasuppilon (TS_{edu}).	32
Kuva 9:	Käyttäjä etsii rakennetta iteroiden (rakenneparametreja muuttaen) sellaisen rakenteen, jonka laskennallinen suppilo (TS_{lss}) vastaa jaksoa edustavaa suppiloa (TS_{edu}). Kuvassa yhteensopivuus on löydetty kolmannella kerralla.	33
Kuva 10:	Rakenne mitoitetaan sallittuun kuormituskestävyyteen muuttamalla (parantamalla) sitä niin, että edustava suppilo (TS_{edu}) vastaa tavoitesuppiloa (TS_{tev}).	34
Kuva 11:	Paikallasekoitusmenetelmän työvaiheet.	34
Kuva 12:	Stabilointijyrsimen rumpu.	35
Kuva 13:	Bitumistabilointivaihtoehdot.	37
Kuva 14:	Asemasekoitusmenetelmän työvaiheet.	41

Taulukkoluettelo

Taulukko 1:	Olosuhdetekijöiden vaikutus bitumilajin valintaan.	21
Taulukko 2:	Esimerkki suhteitustyön suunnittelusta.	25

1 JOHDANTO

Tierakenteen kestävyys heikkenee vähitellen ikääntymisen myötä. Heikkenemisnopeuteen vaikuttaa rakennemateriaalien laatu, kuormituskertojen määrä ja rakenteen ympäristöolosuhteet. Päätieverkkomme on rakennettu pääosin 60- ja 70- luvuilla. Se on ikääntynyt ja monin paikoin peruskorjauksen tarpeessa. Tiestön ikääntyminen näkyy selvimmin ajomukavuutta haittaavina tien pituus- ja poikkisuuntaisina vaurioina. Tyypillistä vaurioituneelle rakenteelle on sen kestävyuden nopea heikkeminen. Siksi on tärkeää määrittää luotettavasti ja nopeasti rakenteen tiekohtainen kunto ja valita siihen oikea rakenteen parantamismenetelmä.

Tämän ohjeen tarkoitus on kuvata ne keskeiset toimenpiteet, jotka on tehtävä suunniteltaessa bitumistabilointia rakenteen parantamismenetelmäksi. Lisäksi ohjeen tavoitteena on varmistaa mahdollisimman hyvä lopputulos silloin, kun menetelmäksi on valittu bitumistabilointi.

Bitumistabiloinnin käyttö on kasvanut viime vuosina. Myös laitetekniikka ja mitoitusmallit ovat kehittyneet. Tämän vuoksi on katsottu tarpeelliseksi tarkistaa ja koota käytössä olevat ohjeet yhdeksi bitumistabilointiohjeeksi. Ohjeeseen on koottu nykyisen tietämyksen pohjalta työn suunnittelussa, toteutuksessa ja laadunvalvonnassa huomioon otettavat keskeiset asiat.

Bitumistabiloinnista on laadittu myös työselitys ja laatuvaatimukset sekä työn arvonmuutosperusteet. Bitumistabilointiohjeessa asioita käsitellään laajempina kokonaisuuksina kuin kyseisissä asiakirjoissa. Tämän vuoksi ohjeen tarkoitus on myös täydentää taustatiedoin asiakirjojen ohjeita ja laatuvaatimuksia.

2 MÄÄRITELMÄT

Bitumistabilointi (BST) tarkoittaa rakentamisessa ja kunnossapidossa käytettävää menetelmää. Menetelmällä parannetaan tien tai muun liikennealueen kuormituskestävyyttä sitomalla niiden rakennekerroksia bitumisella sideaineella. Sideaine lisätään kylmään kiviainekseen. Kiviaines voi olla joko vanhaa tierungossa jo olevaa tai uutta paikalle ajettua materiaalia tai näiden yhdistelmiä.

Sideaine voi olla kuumaa vaahdotettua bitumia tai bitumiemulsiota. Edellisessä tapauksessa puhutaan vaahdotbitumistabiloinnista (VBST) ja jälkimmäisessä bitumiemulsiostabiloinnista (BEST).

Stabilointimassa voidaan valmistaa joko paikallasekoituksena tai asemasekoituksena. Sekoitustapa valitaan stabilointikohteen ja ennakkotutkimusten perusteella.

3 MENETELMÄT

3.1 Vaahtobitumistabilointi (VBST)

Menetelmässä sekoitetaan vettä kuumaan bitumiin ylipaineessa ja seoksen annetaan purkautua alempaan paineeseen. Seoksen purkautuessa sekoituskammioista normaaliin ilmanpaineeseen vesi höyrystyy hyvin nopeasti ja saa aikaan bitumin vaahtoutumisen. Bitumin tilavuus kasvaa vaahtoutuessa n. 15 – 20 kertaiseksi alkuperäiseen tilavuuteen verrattuna. Vaahto laskeutuu nopeasti vesihöyryn poistuttua. Vaahton maksimi tilavuus puoliutuu noin 25 sekunnissa. Sekoituksen tulee tapahtua tänä aikana, koska silloin sideaineen pinta-ala on suurimmillaan. Kun vaahtotettu bitumi sekoittuu kylmään ja kosteaan kiviainekseen, se sitoutuu hienoainekseen.

Bitumin vaahtoutumista kuvataan tilavuuden laajenemiskertoimella ja puoliutumisajalla. Tilavuuden laajenemiskerroin on vaahton tilavuuden suhde alkuperäisen bitumin tilavuuteen. Vaahton puoliutumisaika on aika, mikä kuluu vaahton maksimitilavuuden puoliutumiseen. Kun vettä sekoitetaan kuumaan bitumiin 2 – 3 painoprosenttia bitumimäärästä, saadaan noin 15 – 20 –kertainen vaahtoaminen.

Bitumin lämpötilan merkitys vaahtoamiselle on ratkaiseva. Mikäli bitumin lämpötila on $< 150^{\circ}\text{C}$, vaahtoutuminen heikkenee tai sitä ei tapahdu lainkaan (pehmeämmillä laaduilla, kuten B 800, $< 130^{\circ}\text{C}$). Silikoni bitumissa huonontaa myös bitumin vaahtoutumista.

3.2 Bitumiemulsiostabilointi (BEST)

BEST tarkoittaa menetelmää, jossa bitumiemulsio lisätään kylmään ja kosteaan kiviainekseen. Emulsiossa bitumi on jakautunut pieniksi pisaroiksi veteen. Joutuessaan kosketukseen kivipinnan kanssa emulsio murtuu. Emulsion murtuessa vesi erottuu bitumista, jolloin bitumipisarot tarttuvat kiviin ja toisiinsa muodostaen sidoksia kivirakeiden välille.

Bitumiemulsio valmistetaan emulgoimalla bitumia veteen. Lisäaineena käytetään emulgaattoria, joka pitää bitumihiukkaset erillään toisistaan. Sideaineena käytetään sekä hitaasti että keskinopeasti murtuvia emulsioita riippuen käyttötarkoituksesta, tekniikasta ja kiviaineksesta.

Bitumiemulsiota käytettäessä tulee olla varma emulsion ja kiviaineksen tarttuvuudesta ja oikeasta murtumishetkestä. Emulsioiden käsittelyssä on varottava ennen aikaista murtumista mm. pumppauksen ja lämmityksen yhteydessä. Kylmänä vuodenaikana emulsio on suojattava pakkaselta. Veden jäätyessä emulsio pilaantuu käyttökelvottomaksi. Emulsiotyöt onnistuvat parhaiten yli 10°C lämpötilassa.

Emulsiolla saadaan parempi peittoaste kuin vaahtobitumilla, mutta käytännössä molemmilla menetelmillä saavutetaan yhtä hyvä lujuuden lopputulos, kun stabilointi tehdään oikein.

3.3 Paikallasekoitusmenetelmä

Menetelmässä sideaine sekoitetaan stabiloitavaan kerrokseen suoraan rakennuskohteessa työhön tarkoitettulla stabilointijyrsimellä. Paikallasekoituksen käytön määrittää yleensä stabiloitavan kiviaineksen saanti. Meillä bitumistabilointi paikallasekoituksena on yleisin menetelmä. Sitä on käytetty etupäässä perusparannettavilla alempiluokkaisilla teillä. Paikallasekoitukselle on ominaista:

- + vanhojen rakennekerrosten hyötykäyttö
- + vähäinen lisäkiviaineksen kuljetustarve
- sideaineen ja kiviaineksen tasalaatuinen sekoittuminen epävarmempi kuin asemasekoituksessa.

3.4 Asemasekoitusmenetelmä

Asemasekoitusmenetelmässä stabilointimassa valmistetaan sekoitusasemalla ja massan levitystyö tehdään rakennuskohteessa. Asemasekoitusta käytetään korkealuokkaisilla teillä, kun vaaditaan erityisen hyvää lujuutta tai kun materiaalin kuljetuskustannukset ovat sellaiset, että asemasekoitus on edullisempi kuin paikallasekoitus. Asemasekoitukselle on ominaista:

- + kiviaineksen ja bitumin sekoitus on tarkka
- + massa on homogeeninen ja tasalaatuinen
- + kerrospaksuus on tasainen
- asemasekoitus on yleensä kalliimpi kuin paikallasekoitus.

Asemasekoituksen yhteydessä kiviaineksen homogeenisuutta ja massan laatua voidaan valvoa paremmin kuin paikallasekoituksessa.

4 MENETELMÄN VALINTAPERUSTEET

4.1 Vaihtoehtovertilu

Bitumistabiloinnin valinnan tulee perustua vaihtoehtoisten menetelmien vertailuun. Muita kilpailevia menetelmiä ovat rakenteen parantaminen sitomattomilla murskekerroksilla tai sementtistabiloinnilla. Vertailu tehdään aina tapauskohtaisesti ja siihen vaikuttavat:

- työlle asetetut tavoitteet
- käytettävissä olevat materiaalit
- rakennusolosuhteet
- työstä aiheutuvat kustannukset
- suunniteltu rakenteen ikä [KKL]

4.2 Laatumavoitteet

Stabilointia suunniteltaessa bitumistabiloinnille voidaan asettaa yleiset laatumavoitteet:

4.2.1 Kuormituskestävyys

Bitumin viskoelastisuus tekee stabiloidusta kerroksesta joustavan. Kun päällysteen alapintaan syntyy liikennekuormista ja lämpötilan muutoksista toistuvia vetojännityksiä, bitumilla stabiloitu kantava kerros kestää hyvin vetojännityksiä ja hidastaa rakenteen väsymistä. Bitumilla sidottu kantava kerros deformatuu vähemmän kuin sitomaton kerros.

4.2.2 Routimattomuus

Bitumi sitoutuu hienontuneeseen kiviainekseen, stabiloitu kerros tulee routimattomaksi ja sitoo vähemmän vettä. Lisäksi bitumilla sidottu rakenne kestää joustavuutensa vuoksi epätasaisia routanousuja. Bitumilla lujitettu rakenne vähentää myös pakkasesta aiheutuvia päällysteen poikkikatkoja.

4.2.3 Tierungon kuivatus

Bitumilla stabiloitu kerros estää pintavesien imeytymisen tierakenteeseen tehokkaammin kuin sitomaton kerros. Toisaalta bitumilla sidottu kerros vähentää myös kapillaarisen veden nousua tierakenteeseen.

4.3 Materiaalit

Stabiloitava kiviaines määrittää alustavasti käytettävän sideaineen. Kiviaineksen soveltuvuus bitumistabilointiin on esitetty kuvassa 3. Lopullinen valinta stabiloinnista tehdään kohdassa 5 esitettyjen esiselvitystulosten perusteella.

4.4 Rakentamisolosuhteet

Arvioitaessa parantamistapaa on otettava huomioon myös olosuhteiden asettamat vaatimukset menetelmän käytölle.

BST on kilpailukykyinen menetelmä erityisesti vanhojen päällystettyjen teiden aluekohtaisessa kuormituskestävyyden lisäämisessä:

- Tiheään rakennetuilla asutusalueilla, joissa tsv:n huomattava muuttaminen ja tiealueen leventäminen ei ole mahdollista.

- Kun uusittavan päällysteen alla oleva sitomaton kiviaines on bitumistabilointiin kelpavaa.
- Kun sitomattoman kantavan kerroksen painumien oikaisuun tarvitaan lisäkiviainesta, bitumistabiloinnissa tähän tarkoitukseen kelpaavat myös huonompilaatuiset kiviainekset (muutoin kantavaan rakenteeseen kelpaamattomat).
- Kun parannustyö vaatisi muuten kiertotie- tai muita erityisiä liikennejärjestelyjä. Stabilointi häiritsee liikennettä suhteellisen vähän, koska työ etenee nopeasti ja se voidaan toteuttaa ajokaista kerrallaan.

4.5 Kustannustarkastelu

Kustannusvertailussa eri menetelmien välillä tulisi ottaa huomioon sekä tienpitäjän että tien käyttäjän kustannukset. Menetelmissä vakiona pysyvät kustannukset voidaan jättää tarkastelun ulkopuolelle. Kustannustarkastelu tulisi tehdä aina tapauskohtaisesti, koska hankkeen olosuhdetekijöillä on suuri merkitys kustannuksiin.

Tässä on esitetty esimerkkinä bitumistabiloinnin työ- ja vuosikustannusten laskennassa huomioitavat asiat.

4.5.1 Työkustannukset

Stabiloinnin kustannukset muodostuvat:

- esi- ja työnaikaisista tutkimuskustannuksista
- työ- ja konekustannuksista
- materiaalikustannuksista.

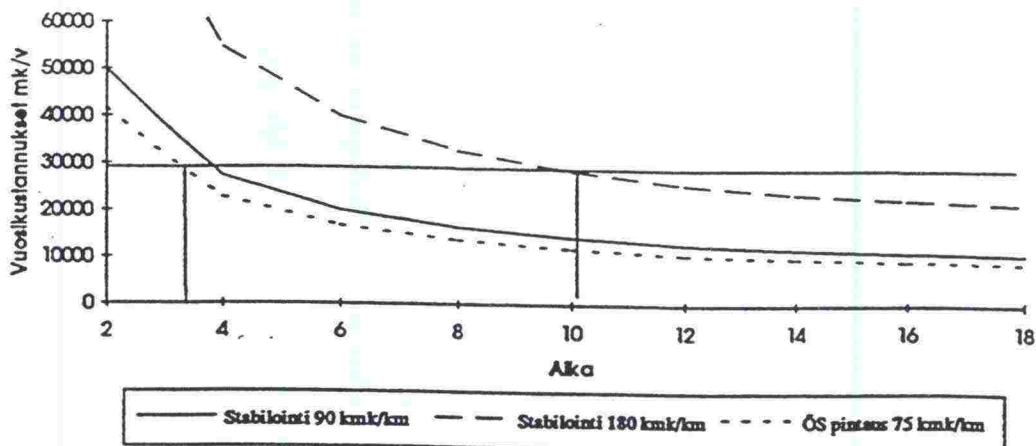
Tutkimuskustannukset riippuvat kohteen olosuhdetekijöiden lisäksi tutkimusohjelman laajuudesta. Työ- ja konekustannuksiin vaikuttaa valittu työmenetelmä. Materiaalikustannukset muodostuvat puolestaan kiviaines- ja sideainekustannuksista.

4.5.2 Vuosikustannukset

Vuosikustannuksia määritettäessä etsitään vastausta kysymykseen:

- Kun eri toimenpiteiden hintasuhde on tietty, miten paljon kauemmin kalliimman toimenpiteen tulisi kestää, jotta toimenpiteiden vuosikustannukset ovat yhtä suuria?

Seuraavassa kuvassa on esimerkki vuosikustannuskäyristä 10 % diskontauskorolla kolmelle eri rakennuskustannukselle, jotka sopivat ÖS-pintaaukselle, edullisissa ja korkeiden kustannusten olosuhteissa tehdyille stabiloinneille.



Kuva 1: Vuosikustannukset 10 % diskonttauksella.

Kuvasta nähdään erihintaisten menetelmien vuosikustannukset eri kestoajilla. Jos valitaan kuvaan piirretty hieman alle 30 000 mk vuosikustannus, nähdään, että menetelmät ovat samanhintaisia, jos ÖS-pintaaz kestää 3 vuotta, stabilointi (1) 4 vuotta ja stabilointi (2) 10 vuotta.

4.6 Käyttöalue

Bitumistabilointia käytetään sekä uusien teiden rakentamiseen että vanhojen perusparannukseen. Sitä voidaan käyttää joko jakavaan tai kantavaan kerrokseen.

Suomessa bitumistabilointia on käytetty yksinomaan kantavan kerroksen sitomiseen. Kun kantava kerros on liikenteen vaikutuksesta menettänyt kuormituksenkesto-ominaisuutensa ja muuttunut vähitellen routivaksi, bitumistabiloinnilla on saatu hyviä tuloksia tilanteen korjaamiseksi. Routivaa kerrosta stabiloitaessa sideaine sitoo hienoaineksen ja sekoitus homogenisoi kiviaineksen rakeisuuden eli kantavalle kerrokselle voidaan palauttaa sen kuormituskesto-ominaisuudet.

Stabilointikohteet voidaan jakaa eri laatuluokkiin stabiloinnilta vaaditun laatutason mukaan.

Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat tiet, joiden tasaisuusvaatimus on päätieverkon tasoa. Näillä teillä ei tulisi sallia vanhojen materiaalien käyttöä eikä niistä johtuvia laatuvaihteluita. Vahvistettavan kerroksen tulee olla kontrolloitua kiviainesta, jonka rakeisuus ja lujuusominaisuudet tunnetaan tarkoin. Sekoitustavaksi suositellaan asemasekoitusta tai ylimääräistä sekoitusjyrsintää tiesekoituksessa.

Toinen luokka on vaatimustasoltaan nykyistä öljysora- tai soratiestä vastaava. Näillä teillä on mahdollista käyttää paikallista materiaalia joko sellaisenaan tai parannettuna pienellä määrällä uutta kiviainesta. Stabiloinnissa voidaan käyttää paikallasekoitusta.

5 ESITUTKIMUKSET

5.1 Yleistä

Bitumilla stabiloitavan kohteen valinnan tulee perustua ennakkotutkimuksiin. Myös stabiloinnin hyvä lopputulos edellyttää mahdollisimman tarkat tiedot korjaustoimenpiteitä vaativista tieosista. Esiselvitykset tehdään ennalta laaditun tutkimusohjelman mukaan. Tutkimusohjelmasta on hyötyä mm. siksi, että tällöin kaikki tutkimusvaiheet dokumentoidaan. Lisäksi sen pohjalta voidaan seurata työn onnistumista ja kestoikää.

Esitutkimukset käsittävät maastotutkimukset ja laboratoriotutkimukset, jossa selvitetään:

- tien vaurioitumisen syyt
- alusrakenteen kantavuus ja routivuus
- alusrakenteen kuivatusolosuhteet
- vanhan rakenteen eri kerrosten paksuudet ja ominaisuudet
- käytettävän sideaineen tyyppi ja määrä
- alustan homogeenisuus
- stabiloitavan kiviaineksen laatu ja määrä.

5.2 Maastotutkimukset

Maastotutkimusten tarkoituksena on selvittää rakenteen kunto ja rakennekerrosten ominaisuudet. Tutkimukset jakaantuvat vaurioinventointiin, pudotuspainomittauksiin ja materiaalitutkimuksiin. Maastotutkimukset ohjaavat korjaustoimenpiteiden valintaa ja toisaalta antavat oleelliset tiedot laboratoriotutkimusten ja rakenteen mitoituksen suorittamiseen.

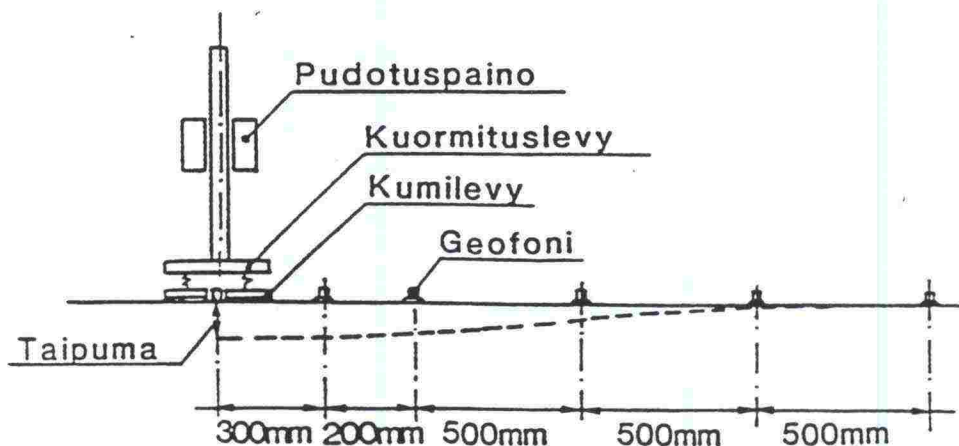
5.2.1 Vaurioinventointi

Päällysteen vaurioinventointi on hyvä lähtökohta arvioitaessa vanhan tien nykytilaa, vaurioiden syitä ja bitumistabiloinnin sopivuutta parantamismenetelmäksi.

Silmämääräisesti voidaan alustavasti arvioida vaurioiden syitä. Jos tiellä on suuria halkeamia ja painumia, ongelmat ovat todennäköisesti kantavan kerroksen alapuolella. Tällaisiin kohtiin ei riitä yksin stabilointi, vaan ne vaativat myös muita rakenteellisia korjauksia. Kapeilla teillä suurien reunapainumien korjaamiseen tarvitaan reunan ja luiskien vahvistamista. Kuivatusjärjestelyjen toimivuus tulee myös aina tarkistaa. Mikäli kuivatuksessa havaitaan puutteita, ne korjataan parannustöiden yhteydessä. Kuivatuksesta on kerrottu enemmän Teiden suunnittelu osa IV 4 Kuivatus ja 7 Rakenteen parantaminen.

5.2.2 Pudotuspainolaitemittaukset

Pudotuspainolaite on viime vuosina voimakkaimmin yleistynyt tierakenteiden muodonmuutosominaisuuksien in-situ-mittausmenetelmä. Koestettavan rakenteen pinnalle asetetaan yhtenäinen tai muutamasta sektoripalasta koostuva tavallisimmin 0,30 m halkaisijaltaan oleva ympyrälevy, jonka päälle tietyn suuruisen massan annetaan vapaasti pudota (kuva 2).



Kuva 2: Pudotuspainolaitteen periaate.

Kuormituspulssin aiheuttama rakenteen pinnan painuma mitataan tavallisesti sekä kuormituslevyn keskellä olevaan reikään (geofoni d0) että määrättyille etäisyyksille levyn ulkopuolelle sijoitettujen geofonien avulla. Näin saadaan määritettyä kuormituksen aiheuttaman nk. taipumasuppilon muoto. Taipumasuppilon avulla saadaan parannettavasta rakenteesta tietoa, jonka avulla kantavuuden parantamisen tarve voidaan määrittää valmiita laskentaohjelmia käyttäen.

Verrattaessa eri aikaan tehtyjä taipumamittauksia keskenään tulee tuloksissa huomioida lämpötilaerojen aiheuttama korjaus.

Pohjamaan tai parannettavan rakenteen kantavuudet mitataan pudotuspainolaitteella parantamisvuotta edellisenä keväänä. Mittaukset tehdään 50 – 100 m välein vuoroin molemmilta kaistoilta (kaistojen uloimmasta pyöräurasta). Mittausaikaiset olosuhdetiedot rekisteröidään mahdollista tulevaa tarvetta varten. Tavoitteena on selvittää roudan sulamisaikainen kantavuus eli kun routa on sulanut noin 1,0 m syvyyteen.

Pudotuspainolaitteella mitattujen kantavuusarvojen perusteella arvioidaan alustavasti bitumistabiloinnin soveltuvuus kyseiseen kohteeseen. Jos mitattu kevätkantavuus on alle 50 MN/m^2 , voidaan käyttää bitumistabilointia vain jos mursketta lisätään.

5.2.3 Rakennekerrosten tutkiminen

Vaurioinventointi ja kantavuusmittausten perusteella kuormituskestävyyden lisäystä tarvitsevista tieosista tutkitaan kerrospaksuudet ja kivisyys sekä otetaan näytteet laboratorioissa suoritettavia rakeisuus- ja kosteustutkimuksia varten. Tutkimuspisteiden välit voidaan tutkia esim. maatumkan avulla.

5.2.3.1 Kerrospaksuudet ja kivisyys

Kerrospaksuudet ja kivisyys määritetään yleensä maakairauksilla ja kaivamalla koekuoppia. Parannettava tieosa voidaan tutkia myös maatumkalla ennalta tehdyn suunnitelman mukaan. Luotauksesta saatujen kerrosten paksuus- ja koostumistietojen perusteella tehdään tarvittaessa täydentävä ohjelma pistekohtaisista kairauksista ja koekuopista.

5.2.3.2 Näytteenotto

Näytteiden otolla ryhmitellään maalajit rakeisuuden, vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden mukaan omiksi alueikseen.

Näytteitä ei oteta kaavamaisesti määrätyn välein, vaan pyritään löytämään ensin kairausten ja maatumkan avulla kerrosominaisuuksien muutoskohdat. Näin vältetään liiallisten näytteiden otolta.

Kunkin ominaisuuksiltaan erilaisen osa-alueen näytemäärän tulee olla 30 – 40 kg ja tästä on ainakin osa säilytettävä tiiviissä astiassa vesipitoisuuden selvittämiseksi. Näytteistä tutkitaan rakeisuus (0.074 – 100 mm) sekä selvitetään rakenteessa olevien suurien kivien (> 100 mm) määrä.

Päällysteestä otetaan näytteet, jotka murskataan. Näytteistä mitataan sideainepitoisuus ja rakeisuus. Päällysteen paksuus mitataan.

5.3 Laborioritutkimukset

5.3.1 Yleistä

Laboriorikokeiden avulla selvitetään rakeisuuden parantamistarve, kiviaineksen humuspitoisuus, sideaineen valinta ja stabiloitavan kerroksen kosteus. Mikäli päällyste sekoitetaan stabiloitavaan kerrokseen, määritetään myös sen sideainepitoisuus ja rakeisuus. Laborioritutkimukset tehdään vaiheittain. Aluksi arvioidaan käytettävissä olevien materiaalien sopivuus stabilointiin. Saatujen tutkimustulosten pohjalta tehdään suhteitus. Suhteitusta koskevat tutkimukset on esitetty kohdassa 5.

5.3.2 Massan lujuteen vaikuttavat tekijät ja tutkimusmenetelmät

Bitumistabiloinnin lujuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

1. Massan vesipitoisuus
2. Bitumin laatu
3. Bitumipitoisuus
4. Tiiviysaste
5. Kiviaineksen rakeisuus
6. Kiviaineksen humuspitoisuus
7. Kiviaineksen laatu
8. Tartukkeet
9. Tyhjätila
10. Kyllästysaste

5.3.2.1 Massan vesipitoisuus

Massan kosteus vaikuttaa stabiloinnin onnistumiseen siten, että vesipitoisuuden ollessa suuri tiivistäminen vaikeutuu tai on mahdotonta, huokostila jää suureksi ja rakeiden kosketuskohtien pinta-ala pieneksi. Toisaalta myös liian kuivassa massassa jää tiivistyminen vaillinaiseksi, koska vähäbitumisisä massoissa myös vesi toimii bitumin ohella voiteluaineena tiivistyksessä.

Stabiloitava kiviaines kastellaan niin, että tiivistyksen alkaessa sen kosteuspitoisuus on 80 % optimivesipitoisuudessa (= tavoitevesipitoisuus). Kiviaineksen vesipitoisuus määritetään laboratoriossa kuivaamalla luonnontilaisessa vesipitoisuudessa oleva näyte. Mahdollinen veden lisätarve tutkitaan parannetulla Proctor-kokeella. Vaahdotukseen ja emulsion tekoon käytettävän veden tulee olla puhdasta.

5.3.2.2 Bitumin laatu

Stabilointiin käytettävän bitumilajin tulee soveltua stabilointityöhön ja niihin olosuhteisiin, joissa valmis rakenne toimii.

Kovin vaahdotustekniikassa käytetty bitumilaji on ollut B-80 ja pehmein B-800. Kaikkia kovuusluokkia näiden välillä on myös kokeiltu. Sideaine on sisältänyt tartuketta tarttuvuuden takaamiseksi kylmään ja kosteaan kiviainekseen. Eniten käytetyt laadut ovat kovuusluokaltaan B-200 – B-300. Emulsiotekniikassa on käytetty bitumiemulsiota BIE K-0. Kokeissa havaittiin kovimmat bitumit vaikeimmiksi vaahdottaa eikä niillä saatu mitään etua pehmeisiin laatuihin nähden. Emulsiotekniikan ja vaahdotusmenetelmien välillä ei ole lopputuloksessa havaittu käytännön eroja.

Stabilointitavasta riippuen valitun bitumilajin tulee soveltua hyvin joko vaahdotukseen tai emulgointiin. Eri olosuhdetekijöiden vaikutus bitumilajin valintaan on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Olosuhdetekijöiden vaikutus bitumilajin valintaan.

Olosuhdetekijät	Suositeltava bitumilaji	
	Kova	Pehmeä
Alustan kantavuus	Kantava	Heikko, routiva
Liikenne	Vilkas	Vähän (kovettumisvara)
Lämpötila	Lauha ilmanala	Kylmä ilmanala

Emulsion ja vaahdotetun bitumin tarttuvuus kiviainekseen eroaa siten, että emulsiot peittävät enemmän suuria rakeita ohuella kalvolla kuin vaahdotettu bitumi.

5.3.2.3 Bitumipitoisuus

Bitumipitoisuuden lisäämisellä optimipitoisuuteen saakka voidaan lisätä huokosissa olevan sideaineen määrää ja tätä kautta kiviaineksen välisiä tartuntoja. Rakenteesta tulee suljetumpi ja siten kestävämpi ja kantavampi. Optimipitoisuuden ylittyessä bitumi alkaa toimia voiteluaineen tavoin rakeiden välillä, eikä näin lisää enää lujuutta. Bitumipitoisuuden lisääminen pienentää stabiloidun rakenteen vedenläpäisevyyttä ja lisää vedenkestävyyttä.

Bitumipitoisuus riippuu hienoaineksen määrästä, yleensä se on n 3,5%.

5.3.2.4 Tiiviysaste

Massan tiivistyksellä on suuri merkitys bitumilla stabiloidun rakenteen lujuuteen. Mitä tiiviimmäksi rakenne saadaan, sitä lujempi ja kantavampi se on. Tiivistettäessä maarakeet painuvat toisiaan vasten, jolloin kosketuskohtiin rakeiden väliin jää ohut bitumiliimakerros, joka kovettuessaan sitoo rakeet. Mitä tehokkaampi tiivistys, sitä suurempi on rakeiden välisten tartuntakohtien pinta-ala.

Stabiloinnin tiivistystyölle annetaan tiivistysastevaatimus, joka tarkoittaa tiivistetyn stabiloidun kiviaineksen kuivairtotiheyden suhdetta Proctor tiiveyteen eli Proctor- kokeen antamaan kuivairtotiheyden maksimiin.

5.3.2.6 Kiviaineksen humuspitoisuus

Humuspitoisuus määritetään natriumhydroksidikokeella. Yleensä kiviaines, jonka humusluokka on O-II sopii stabiloitavaksi ilman humuksen neutralointia. Jos humusluokka on III tai IV, on erikseen selvitettävä niiden haittaava vaikutus tartuntaan. Nykyisin käytettävät humuspitoisuuden määrittämisselitteet eivät kerro yksiselitteisesti muuta kuin sisältääkö kiviaines humusta vai ei.

5.3.2.7 Tartukkeet

Tartukkeita käytetään bitumistabiloinnin yhteydessä varmistamaan bitumin tarttumista kiviainekseen. Korkeita lämpötiloja käytettäessä on varmistuttava, ettei tartuke menetä tehoaan. Ilman sisältämä happi vähentää tartukkeiden tehoa. Siksi tartukkeiden sekoitus sideaineeseen on järjestettävä siten, että ilma ei pääse kiertoprosessiin mukaan.

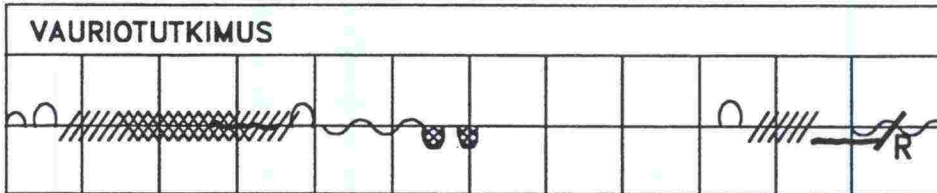
Alentaessaan sideaineen ja kiviaineksen välistä pintajännitystä tartuke samalla alentaa sideaineen ja veden välistä rajapintajännitystä. Tämän välttäminen asettaa ylärajan tartukkeen määrälle.

Tartukkeista yleisimmin käytettyjä ovat alkyyliamiinit. Aktiivinen tarttuvuus paranee siirryttäessä monoamiineista polyamiineihin. Kuumuuden kestävyysjärjestys on päinvastainen.

5.4 Jako toimenpideosuuksiin

Ennakkoselvitysten perusteella parannettava tieosa jaetaan osuuksiin, joita jatkossa tarkastellaan itsenäisinä kokonaisuuksina (kuva 4). Tämä siksi, että kunnoltaan ja rakenteiltaan erilaiset osuudet vaativat erilaisia toimenpiteitä.

Tieosa jaetaan osuuksiin, jotka poikkeavat toisistaan esimerkiksi rakennusmateriaalien, kantavuuden tai kerrospaksuuksien osalta. Liian pieniin osuuksiin jakamista on tässä yhteydessä vältettävä. Jakoperusteina voisi olla myös vauriosumma tai päällystämivuoden ja vaurioitumissumman perusteella laskettu vaurioitumisnopeus. Myös pudotuspainomittausten perusteella voidaan tehdä jako osuuksiin käyttäen sopivaa kriteeriä. Tällaisia kriteereitä voivat olla esim. maksimi taipuma tai sen ja jonkin toisen geofonin antaman taipuman erotus. Tässäkin on huomattava järkevä osuuden minimipituus, koska yhdelle osuudelle mitoitetaan jatkossa tietty rakenne. Vauriotutkimuksen esitystapamerkitöjä on liitteissä 1, 2 ja 3.



Kuva 4: Vauriotutkimuksen ennakkoselvityksen esitystapa.

6 SUHTEITUS

6.1 Yleistä

Suhteitustyön avulla varmistetaan, että stabilointityölle saadaan optimaalinen työresepti.

Bitumistabilointimassan suhteituksessa määritellään ne muuttujat, joilla arvioidaan olevan merkitystä massojen ominaisuuksiin ja koossapysyvyyteen. Koska bitumistabilointimassoja voidaan pitää "puolisidottuina" materiaaleina, joissa kiviaines peittyy harvoin täysin bitumisella sideaineella, niin massojen koossapysyvyyden varmistaminen on suhteitustyön tärkein tehtävä. Bitumilla stabiloitavien massojen ominaisuuksia tunnetaan vielä melko vähän, joten niiden ominaisuuksien määrittäminen on vain ohjeellinen ja suuntaa antava.

Bitumistabiloinnin suhteitustyössä määritetään massan lujuuteen vaikuttavia tekijöitä:

- massan kosteutta
- bitumipitoisuutta ja bitumin laatua
- kiviaineksen hienoainepitoisuutta ja rakeisuutta
- kiviaineksen laatua ja määrää
- asfalttimurskeen määrää
- tartukkeen ja muiden lisäaineiden määrää.

Esitutkimustulosten perusteella tehdään suhteitussuunnitelma. Taulukossa 2 on esitetty esimerkki miten suhteitustyössä voi muunnella massan koostumusta.

Taulukko 2: Esimerkki suhteitustyön suunnittelusta.

Massa	A	B	C	D	E	F	G
Sideaine (%)	b -0,5	b	b+0,5	b	b	b	b
Kiviaines(massa-%) (tieltä otettu)	100	100	100	80	90	100	100
Asfalttimurske (mas- sa-%)	-	-	-	20	-	-	-
Hiekka (massa-%)	-	-	-	-	10	-	-
Kosteus (%)	k	k	k	k	k	k±x	k
Tartuke (% bit)	-	-	-	-	-	-	t

6.1.1 Kosteus

Stabiloitava massa tiivistyy parhaiten kun massan bitumin ja veden määrä on lähellä kiviaineksen optimivesipitoisuutta. Tästä syystä suhteitustyön alussa on aina määritettävä kiviaineksen optimivesipitoisuus. Optimivesipitoisuuden määrittämiseksi on tunnettava luonnontilaisen kiviaineksen vesipitoisuus. Mikäli kiviaines sisältää liikaa vettä, sen on annettava kuivua tai massaan voidaan lisätä kuivaa kiviainesta.

6.1.2 Bitumimäärä

Bitumimäärällä on vaikutus stabiloitavan massan lujuuteen (ktso kohta 5.3.2.3). Ohjeellinen bitumimäärä voidaan arvioida kaavalla:

$$C = 0,1 p + 2,8 \quad (1)$$

jossa

C on massan bitumipitoisuus

p kiviaineksen 0,074 mm läpäisyarvo (%).

Mikäli stabiloitavassa massassa käytetään myös vanhaa asfaltti- tai öljysoramursketta, niin stabilointimassaan lisättävä bitumimäärä lasketaan kaavalla:

$$C = 0,1 p + 2,8 - k * \frac{RC}{100} * b \quad (2)$$

jossa

RC on massassa käytettävän asfaltti- tai öljysoramurskeen osuus prosenteissa (p-%)

b asfaltti- tai öljysoramurskeen sideainepitoisuus

k	murskatun päällysteen sitoutumiskerroin, joka on		
	ÖS (öljysora)	=	0,5
	PAB (pehmytasfalttibetoni)	=	0,3
	AB (asfalttibetoni)	=	0,2

6.1.3 Sideaineen laatu

Pehmeät bitumilaadut soveltuvat parhaiten vaahtobitumistabilointiin. Suositeltavimmat laadut ovat B-200 – B-300. Kovemmat bitumit sitoutuvat varsinkin kylmällä ilmalla heikommin kylmään kiviainekseen. Bitumin sitoutumista ja tarttuvuutta kylmään ja kosteaan kiviainekseen voidaan parantaa tartukkeilla. Tartukkeiden valinta riippuu bitumin lämpötilasta, tartukkeen säilyvyydestä kuumassa bitumissa sekä kiviaineksen laadusta.

Myös emulsioilla tehtävässä stabiloinnissa suositellaan pehmeiden bitumien käyttöä. Emulsiotekniikka sallii hiukan kovempien bitumien käytön. Emulsion murtumisnopeus stabiloitavan kiviaineksen kanssa on aina tarkistettava ennakkoon määrittämällä murtumisindeksi (murtuvuus kiviainekseen), koska emulsioiden murtuvuus on riippuvainen kiviaineksen pinnan kemiallisesta koostumuksesta.

6.1.4 Kiviaines

Kiviaineksen rakeisuuden vaikutus stabilointimassan ominaisuuksiin on kuvattu kohdassa 5.3.2.5. Karkean kiviaineksen joukkoon joudutaan usein sekoittamaan hienoa hiekkaa, varsinkin vaahtobitumistabiloinnissa. Hyvin hiekkaiseen tai hienoon kiviainekseen voidaan rakeisuuden parantamiseksi lisätä karkeata mursketta esim. 0 – 32 mm.

Kiviaineksena voi käyttää myös paikallisia ja heikompileatuisia kiviaineksia, koska bitumi parantaa rakenteen vedenkestävyyttä.

6.2 Massan valmistus

Stabilointimassat suhteitusta varten valmistetaan laboratoriossa asfalttisekoittimella. Vaahtobitumimassojen valmistukseen asfalttisekoitin on varustettava vaahtoduslaittein.

Stabilointimassojen sekoitusajan tulee olla 1 - 2 min hienoainesmäärästä riippuen.

Bitumistabilointimassaa on valmistettava niin paljon, että jokaista määritettävää ominaisuutta varten voidaan valmistaa neljä koekappaletta.

6.3 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleiden valmistustapa vaikuttaa koetuloksiin. Siksi ne tulee valmistaa vakio menetelmin vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi. Koekappaleet valmistetaan seuraavien ohjeiden mukaisesti.

6.3.1 Näytteen tiivistäminen

Massa tiivistetään joko kiertotiivistyslaitteella (ICT) tai ns. Kango-tiivistysvasaralla. Mikäli massassa on 20 mm suurempia kiviä, tulisi käyttää 150 mm:n muotteja, muuten voi käyttää 100 mm:n muotteja. Yli 32 mm:n kiviaines tulisi poistaa ennen massojen valmistusta.

ICT-laitteella tiivistys tehdään seuraavasti.

Pieniä muotteja (100 mm) varten näyte koko on noin 1150 g/65 mm korkea näyte kappale. Tiivistystyössä käytetään määrättyjä konesäätöjä (4 bar, 30 kierr./min, 161 kierr.). Isoja muotteja varten näyte koko on noin 3900 g/100 mm korkea kappale. Tiivistystyössä käytetään määrättyjä konesäätöjä (3,6 bar, 30 kierr./min, 100 kierr.).

Kango-vasaralla tiivistys suoritetaan seuraavasti:

Pienillä muotteilla (100 mm) näytteen painon tulee olla noin 1150 g. Sullonta tehdään vain yhdeltä puolelta noin 10 sekunnin ajan. Isoja muotteja käytettäessä näytteen koko on noin 5800 g (korkeus 150 mm). Isolla muotilla tiivistys tehdään kolmessa kerroksessa. Tiivistysaika on 15 sek./kerros. Tiivistys tehdään siten, että edellisen kerroksen pinta rikotaan tarttuvuuden parantamiseksi ennen seuraavan kerroksen lisäystä.

6.3.2 Näytteen kovettuminen

Koekappaleet otetaan heti tiivistämisen jälkeen muoteista ja annetaan kuivua/kovettua 7 vuorokautta huoneen lämmössä ennen ominaisuuksien määrittystä.

6.4 Koestus

6.4.1 Koossapysyvyys

Koekappaleiden koossapysyvyys ja homogeenisuus arvioidaan silmämääräisesti 7 vrk:n lujittumisen jälkeen. Mikäli koekappale on ehjä ja tasalaatuinen, arvioidaan massan olevan koossapysyvä. Tämän jälkeen määritetään koekappaleen halkaisuvetolujuus +10 °C:ssa TIE 407 menetelmän mukaisesti. Haluttaessa voidaan halkaisuvetolujuus määrittää myös +25 °C lämpötilassa. Tällöin saadaan HVL_{25} - arvo. Tästä voidaan laskea massan E-moduuli norjalaisten käyttämän kaavan mukaan:

$$E\text{-mod} = (6,1 * HVL_{25}) + 100 \quad (3)$$

joka antaa E-moduulin arvon yksikössä MPa.

Halkaisuvetolujuudelle ei tässä vaiheessa voida antaa vaatimusrajoja. Bitumin jäykkyys on suoraan verrannollinen halkaisuvetolujuuteen. Halkaisuvetolujuusarvoista voidaan suhteitussarjoissa arvioida, miten eri reseptimuuttujat vaikuttavat massan ominaisuuksiin ja koossapysyvyyteen. Kaavan (3) antama E-moduuli ei ole sama kuin kohdassa 7 Mitoitus käytetty E-moduuli.

6.4.2 Tarttuvuusluku

Massojen on myös kestettävä kosteutta. Massojen vedenkestävyys arvioidaan niin, että 7 vrk huoneen lämmössä kovettuneet koekappaleet säilytetään 1 vrk vedessä, jonka jälkeen niiden halkaisuvetolujuus määritetään +10 °C:ssa. Nämä koekappaleet on temperoitava vähintään 30 minuutin ajan + 10 °C:ssa ennen testausta. Tarttuvuusluku lasketaan kaavasta:

$$Tarttuvuusluku = \frac{HVL_{10m\grave{a}rk\grave{a}}}{HVL_{10kuiva}} \quad (4)$$

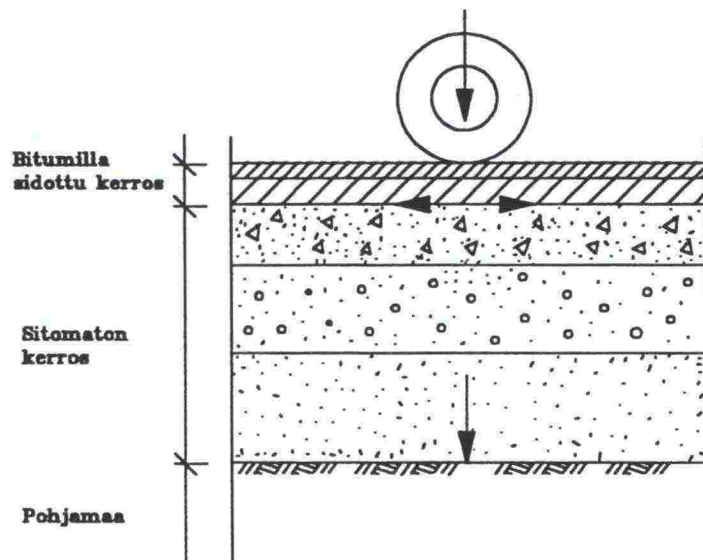
Jos massat kestävät vesisäilytyksen ehjänä ja tarttuvuusluku on yli 0,5, niin voidaan katsoa, että massan vedenkestävyys on riittävä. Jos koossapysyvyys ja/tai vedenkestävyys jää heikoksi on harkittava sideainemäärän nostoa ja/tai tartukkeen lisäystä.

7 MITOITUS

7.1 Analyyttinen mitoitustmenetelmä

Rakenteen parantamisessa käytettävällä mitoitustmenetelmällä tulee pystyä

arvioimaan tapauskohtaisesti todellista rakenteen käyttäytymistä. Menetelmän tulee erityisesti ottaa huomioon lyhytaikaiset, usein toistuvat dynaamiset liikennekuormat. Tämä edellyttää, että mitoitusmenetelmällä kyetään tarkastelemaan yksilöidyn rakenteen käyttäytymistä liikennekuorman alla. Käytännössä mitoitus tehdään suunnittelemalla rakenne niin, että kuormituskestävyyden kannalta kriittisimmät rasitukset (sidottujen kerrosten alapinnan vetomuodonmuutokset ja pohjamaanpinnan puristusjännitykset) jäävät riittävän alhaisiksi.



Kuva 5: Tierakenteen kriittiset rasitukset

Kuormitukset ja materiaalien ominaisuudet laskennallisesti huomioon ottavia mitoitusmenetelmiä kutsutaan analyttisiksi menetelmiksi. Erityisesti uusia rakenteita mitoitettaessa analyttinen periaate on käyttökelpoinen, koska tierakenteissa käytettävien materiaalien ominaisuudet joko tunnetaan tai ne ovat suhteellisen helposti määritettävissä. Tunnetuimpia analyttisiä mitoitusmenetelmiä ovat Shellin, Asphalt Institutin ja Nottinghamin yliopiston menetelmät. Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorio on kehittänyt niissä käytettäviä parametreja Suomen olosuhteisiin soveltuviksi. Oulun yliopistossa on tehty myös mitoitusohje bitumilla sidottujen liikennealueiden suunnitteluun ja rakenteenparantamistarvetta arvioiva mitoitusmenettely.

Analyttistä mitoitusta on ryhdytty soveltamaan myös olemassa olevien teiden kunnan parantamiseen. Nykyisin jo yleisesti käytössä olevat rakenteen kunnan mittausten menetelmät tekevät mahdolliseksi vanhojen tierakenteiden arvioinnin niin, että parannustarve ja -toimenpiteet voidaan laskennallisesti määrittää. Suomessakin on viime vuosina kehitetty analyttiseen laskentaan perustuvia rakenteenparantamista palvelevia mitoitusmenetelmiä. Tässä esitetty mitoitusmalli perustuu Neste Oy:n kehittämään "Analyttinen Päällysrakenteen Suunnittelu (APAS)" ohjelmistoon.

7.2 Mitoitusperiaatteet

7.2.1 Uuden tien rakentaminen

Uuden rakenteen mitoittaminen tehdään Suomen olosuhteisiin kehitetyllä APAS-mitoitusohjelmalla. Seuraavassa lyhyesti mitoituksen periaatteet. Tarkemmat ohjeet selviävät ohjelman käyttöohjeesta.

Ennen mitoitusta kohteesta selvitetään mahdollisimman tarkkaan

- tuleva liikennemäärä ja sen kehitys ajoneuvoryhmittäin
- alustamateriaalin ominaisuudet (pohjamaan materiaalimoduuli mahdollisen vahvistustoimenpiteen jälkeen)
- käytettävissä olevat rakennemateriaalit (materiaalimoduulit)
- ilmastotiedot.

Nämä tiedot syötetään ohjelmalle, joka muodostaa niiden perusteella suunniteltavalle rakenteelle kriittisten rasiusten sallitun tason.

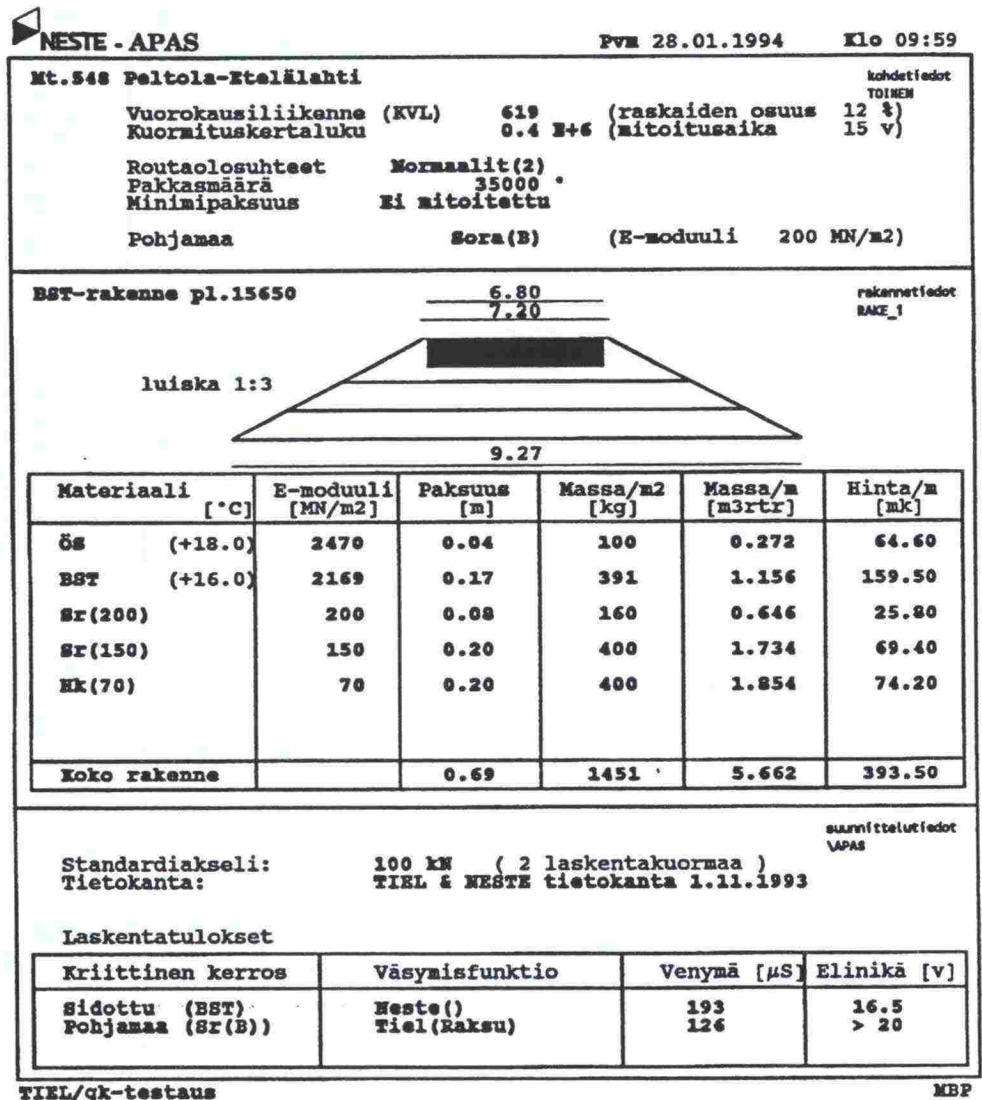
Suunnittelija antaa oman tietämyksensä pohjalta ohjelmalle rakenteen, joka kerrospaksuuksia lukuun ottamatta vastaa hänen mielestään kohteeseen soveltuvaa ratkaisua. Ohjelma iteroi lopuksi rakennepaksuudet niin, etteivät rakenteen sallitut rasiukset ylitä. Suunnittelijan on helppo tuottaa useita erilaisia rakenneratkaisuja, joiden keskinäistä paremmuutta hänen on erikseen tarkasteltava. APAS-ohjelma sisältää yksinkertaisen rakennuskustannusten arviointiominaisuuden.

7.2.2 Vanhan tien parantaminen

Vanhan rakenteen parantamista varten APAS-ohjelmaa on kehitetty niin, että sillä on mahdollista arvioida vanhan rakenteen kuntoa. Arviointi perustuu pudotuspainolaitemittausten (PPL) tuloksiin. Kun näitä tuloksia analysoidaan yhdessä tierakenteen materiaalitietojen ja kerrospaksuuksien kanssa, voidaan vanha rakenne mallintaa ns. takaisinlaskennalla ja siten suunnitella sen päälle tarvittava korjaustoimenpide.

Mitoittaminen menetelmällä edellyttää, että kohteesta on käytettävissä vähintään PPL-mittaustulokset. Näiden lisäksi kohteesta tulisi selvittää

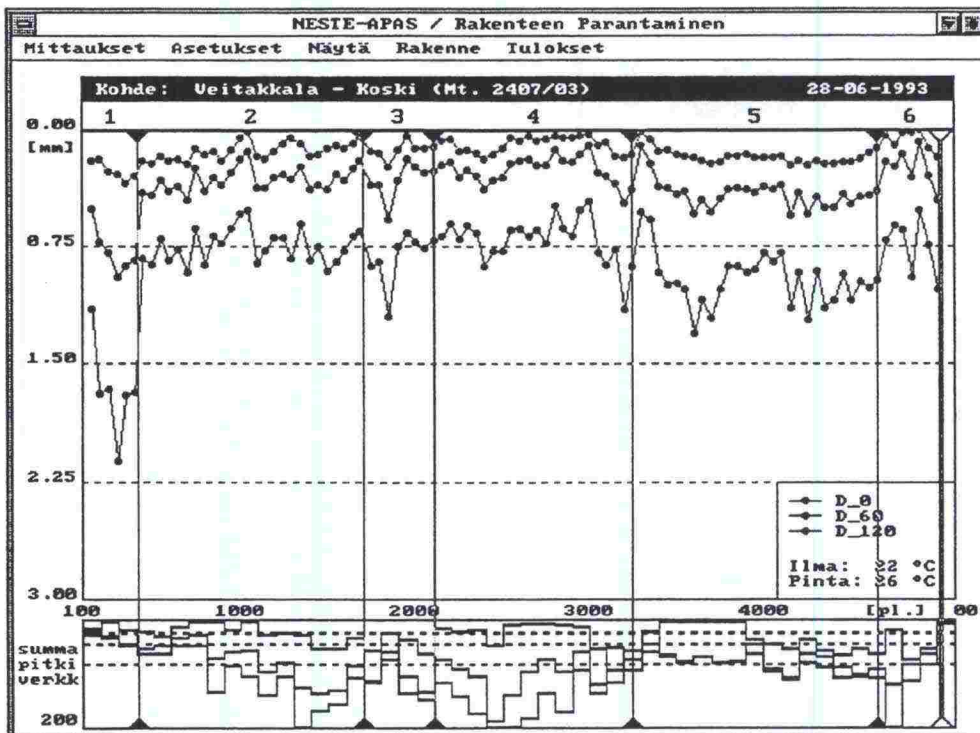
- sille tuleva kuormitus
- rakenteen materiaalitiedot (rakennepaksuudet, rakeisuudet, kosteudet)
- pohjamaatiedot (materiaali, rakeisuus, kosteus)
- 'uusien' materiaalien ominaisuudet
- tien kuntotiedot
- ilmastotiedot.



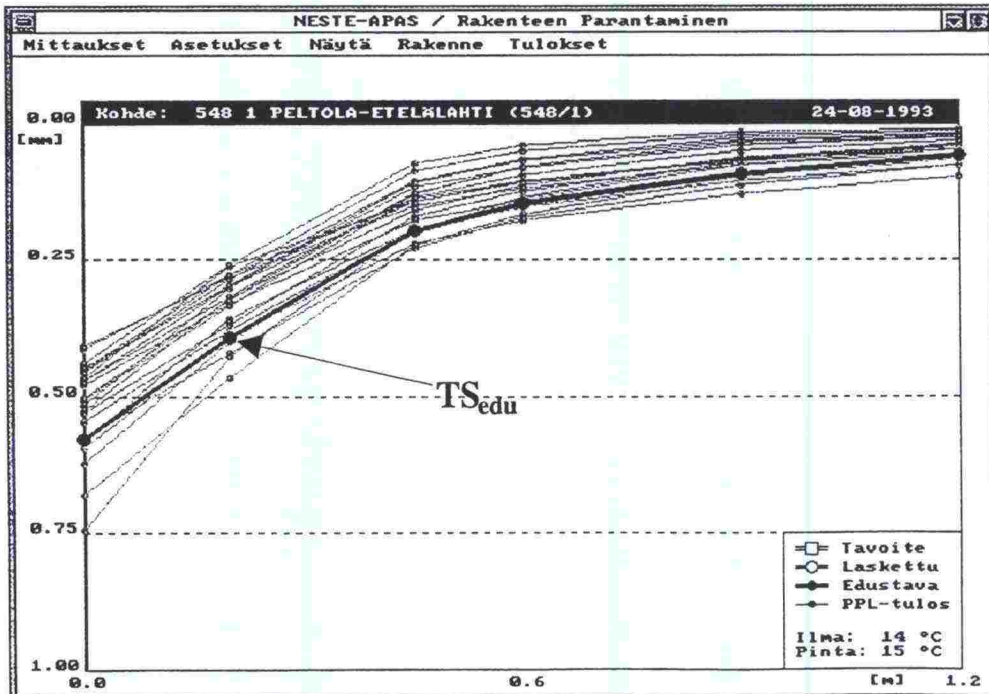
Kuva 6: Malli APAS-ohjelman tulostuksesta.

Mitoittaminen perustuu kohteesta rajattujen homogeenisten jaksojen käsittelyyn. Kuvassa 7 on esitetty 6 km pituisen kohteen mitta- ja havaintotiedot. Kohde on jaettu kuuteen jaksoon, joille kullekin suunnitellaan oma korjaustoimenpiteensä.

Kunkin jakson mittaustuloksista muodostetaan sitä edustava taipumasuppilo mitoituksen pohjaksi. Yleensä mitoitusta ei tehdä jakson huonoimman tuloksen perusteella, koska se johtaisi muun rakenteen osalta turhaan ylimitoitukseen. Suunnittelija voi valita kriteerin, jolla hän haluaa valita jaksoa edustavan suppilon. Hyvä lähtökohta on taloustieteessä käytetyn Pareto-analyysin 20/80-sääntö, jonka mukaan yleensä 80% havainnoista edustaa riittävästi tarkasteltavaa ilmiötä. Tätä periaatetta noudattaen kuvassa 8 on jaksoa edustaamaan valittu suppilo (TS_{edu}), jota huonompia tuloksia jakson matkalla esiintyy 20 %.



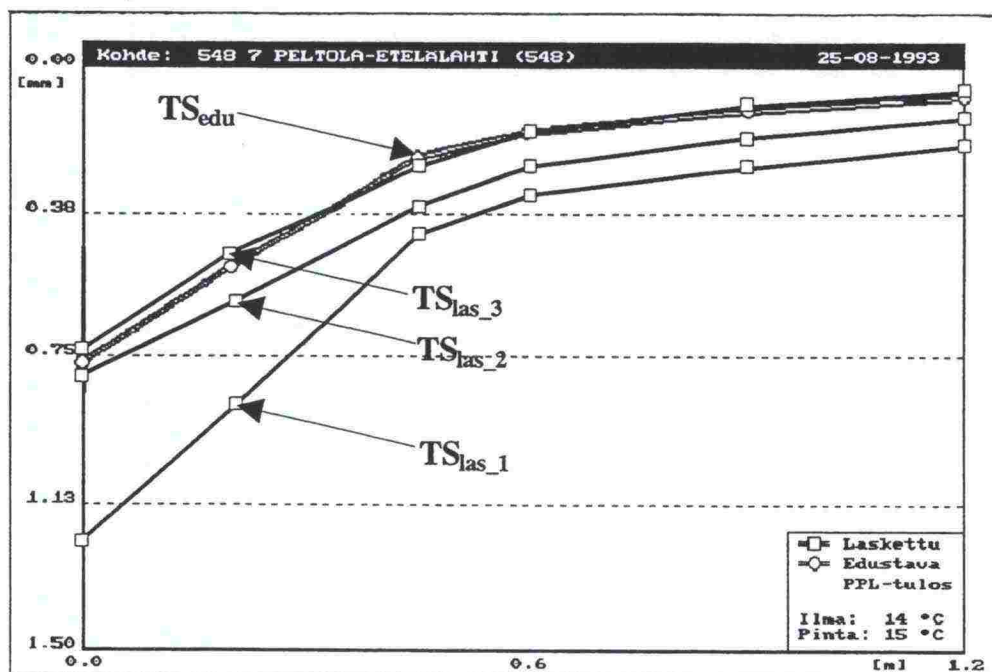
Kuva 7: Kohteen jakaminen jaksoihin mittaus- ja havaintotietojen perusteella.



Kuva 8: Ohjelma ratkaisee käyttäjän antamia kriteerejä käyttäen jakson mitattuja suppiloita (vanhaa rakennetta) edustavan taipumasuppilon (TS_{edu}).

Kun mitoitusohjelmalle annetaan rakenne- ja materiaalitiedot, ohjelma laskee rakennetta vastaavan teoreettisen taipumasuppilon (TS_{lss}). Mitattu ja laskennallinen suppilo poikkeavat toisistaan, mikä johtuu esim. päällysteen vaurioitumisesta, virheellisistä rakennetiedoista jne. Muuttamalla oletettuja

rakenne- ja/tai materiaalitietoja laskennallinen suppilo sovitetaan mitattuun suppiloon. Näin laskennallinen rakenne saadaan vastaamaan mittaushetkellä vallinneita käytännön olosuhteita ja sitä voidaan käyttää lähtötietona parannustoimenpidettä suunniteltaessa.



Kuva 9: Käyttäjä etsii rakennetta iteroiden (rakenneparametreja muuttaen) sellaisen rakenteen, jonka laskennallinen suppilo (TS_{edu}) vastaa jaksoa edustavaa suppiloa (TS_{ed}). Kuvassa yhteensopivuus on löydetty kolmannella kerralla.

Kun suunnittelija valitsee korjaustoimenpiteen (uudet kerrokset ja sen materiaalit), ohjelma ratkaisee tällaiselta rakenteelta vaadittavan tavoitesuppilon (TS_{tav}). Tavoitesuppilo määritetään kriittisten rakennekerrosten avulla kuormituskertojen ja vanhan rakenteen funktiona:

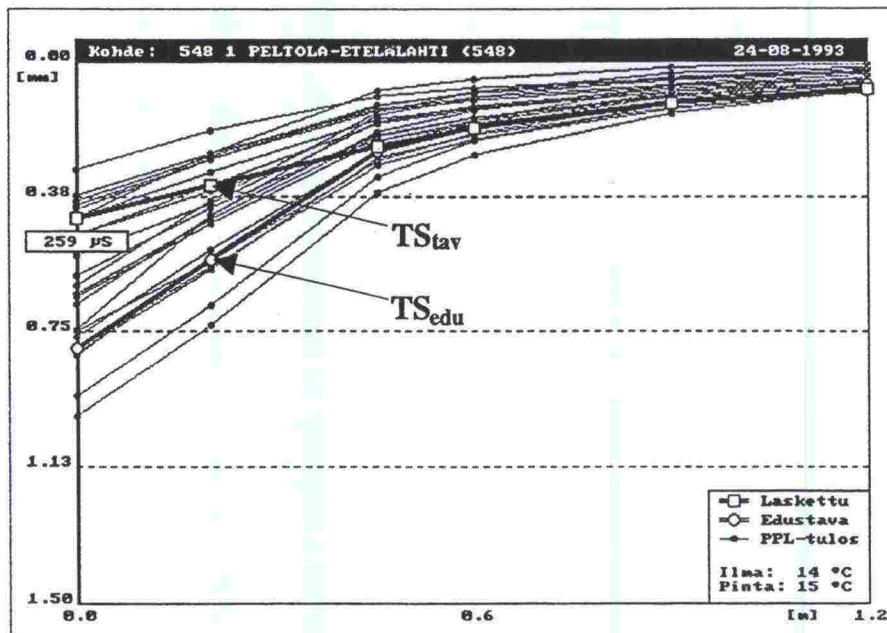
$$TS_{tav} = f(KKL, g(D_5)) \quad (5)$$

missä KKL = Kohteelle laskettu kuormituskertaluku
 $g(D_5)$ = Vanhan rakenteen vaikutus lopulliseen rakenteeseen yksinkertaisimmillaan reunimmaisena Ppb-anturin taipuma (D_5) laskentasuppilossa (TS_{las})

Lopullisena tavoitteena on mitoittaa laskennallisen rakenteen pohjalta uusi rakenne, joka täyttää tavoitesuppilon asettaman vaatimuksen. Suunnittelija voi materiaalivalintojen lisäksi kokeilla esim. seuraavanlaisia rakennevaihtoehtoja lopullista ratkaisua etsiessään:

- pelkän uuden kulutuskerroksen valinta ja mitoittaminen vanhan rakenteen päälle (esim. ÖS)
- vanhan rakenteen osittainen käsittely (esim. ÖS- ja murskekerroksen stabilointi)

- murskeen lisäys ja sen stabilointi
- massanvaihto (kts. uuden rakenteen mitoittaminen).



Kuva 10: Rakenne mitoitetaan sallittuun kuormituskestävyyteen muuttamalla (parantamalla) sitä niin, että edustava suppilo (TS_{edu}) vastaa tavoitesuppiloa (TS_{tav}).

Toteutettava rakennevaihtoehto valitaan yleensä kustannusvertailujen pohjalta. Kustannusvertailussa tulisi käyttää kriteerinä esim. vuosikustannuksia. Tätä tarkoitusta varten APAS ohjelma tuottaa perustiedot; rakenteen rakennuskustannukset (yksikköhinnoilla laskettuna) ja kestoian.

8 TYÖN SUORITUS

8.1 Paikallasekoitus

Paikallasekoitusmenetelmässä stabilointijyrsin jyrssi maa-aineksen ja sekoittaa siihen bitumin. Valmis massa tulee ulos koneesta tasaisena kerroksena. Sen jälkeen stabiloitu kerros tiivistetään, tasoitetaan ja muotoillaan (kuva 11).



Kuva 11: Paikallasekoitusmenetelmän työvaiheet.

8.1.1 Kalusto

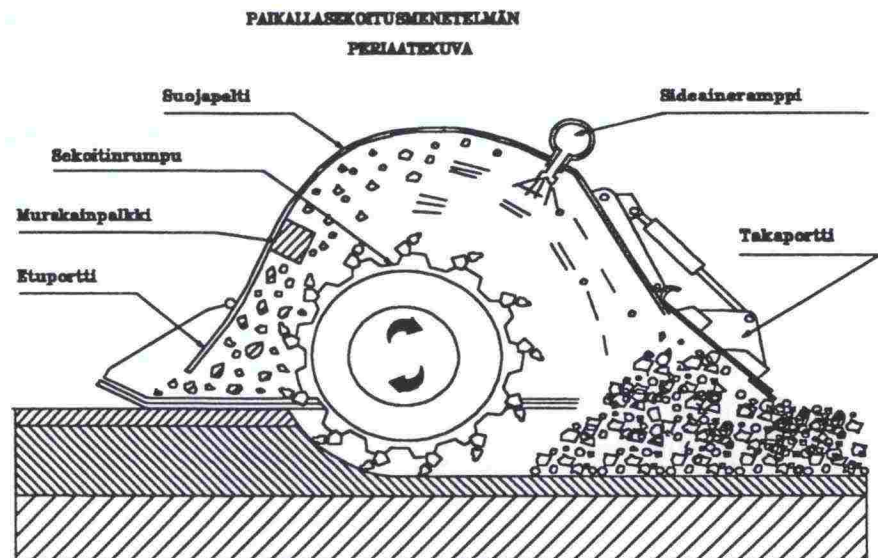
8.1.1.1 Esi- ja sekoitusjyrsinnässä käytettävä kalusto

Esi- ja sekoitusjyrsinnän tehtävänä on homogenisoida stabiloitava kerros, hienontaa vanha kulutuskerros ja sekoittaa hienonnettu kulutuskerros kantavaan kerrokseen vähintään stabiloitavan kerroksen edellyttämältä syvyydeltä.

Esisekoituskoneena käytetään päällystemateriaalista riippuen asfalttijyrsintä, stabilointijyrsintä tai muuta vastaavat sekoitusominaisuudet omaavaa sekoitinta. Yli 100 mm:n kivet poistetaan kerroksesta haraamalla tai erityisellä kivenkeruulaitteella. Esisekoituksen jälkeen kerros muotoillaan oikeaan muotoon tiehöylällä ja tiivistetään.

8.1.1.2 Stabilointikalusto

Stabilointijyrsimen teho riippuu sekoittimen roottorin halkaisijasta ja piikkijärjestelystä. Tehoon vaikuttavat myös sekoittimen (roottorin) pyörimisnopeus, sekä sekoitinjyrsimen työnopeus. Kuvassa 12 on esitetty periaatekuva stabilointijyrsimen rummusta.



Kuva 12: Stabilointijyrsimen rumpu.

Ennen työkauden tarjouspyyntöjen lähettämistä rakennuttajan on hyväksyttävä:

- rummun sekoitustila
- rummun pyörimisnopeus
- rummun halkaisija
- rummun piikkijärjestely
- jyrsimen työnopeus (maksimi)
- jyrsimen teho.

Käytettäessä stabilointiin vaahtobitumia on osoitettava, että bitumi vaahtoutuu ja jakautuu tasaisesti pituus- ja poikki suunnassa. Nämä seikat pitää myös tyyppihyväksyttää ennen työkauden tarjouspyyntöjen lähettämistä. Käytettäessä bitumiemulsiota on varmistettava emulsion tasainen jakautuminen.

Sekoituskoneen painon pitää olla riittävä (n. 20 t) tasaisen sekoitusvyöden varmistamiseksi. Myös piikkien tiheyden pitää olla vähintään 60 kpl/m.

Työn aikana varmistetaan vaahtoaminen sideaineen ulosotosta, josta voidaan tehdä tarkistus päästämällä bitumia esim. ämpäriin. Tilavuuden kasvu vaahtoamalla pitää olla vähintään 15 kertainen. Samoin noudatetaan esitarkastuksessa ko. sekoitinjyrsimelle sopivaksi havaittua nopeutta.

Yleensä maksimi työnopeus on 10 - 15 m/min. Roottorin pyörimisnopeus pitää olla vähintään 100 r/min, rummun halkaisija yli 1,0 mitattuna piikkien ulkokehältä.

Tasointuslevy tai vastaava sekoitusjyrsimen perässä oleva laite pitää olla asennettu siten, ettei lajittumista tapahdu. Samoin jyrsimessä pitää olla riittävästi tehoa, jotta tierungon kiinteämmät kohdat eivät hidasta oleellisesti työnopeutta eikä jyrsintäsyvyyttä tarvitse työaikana ko. kohdissa pienentää.

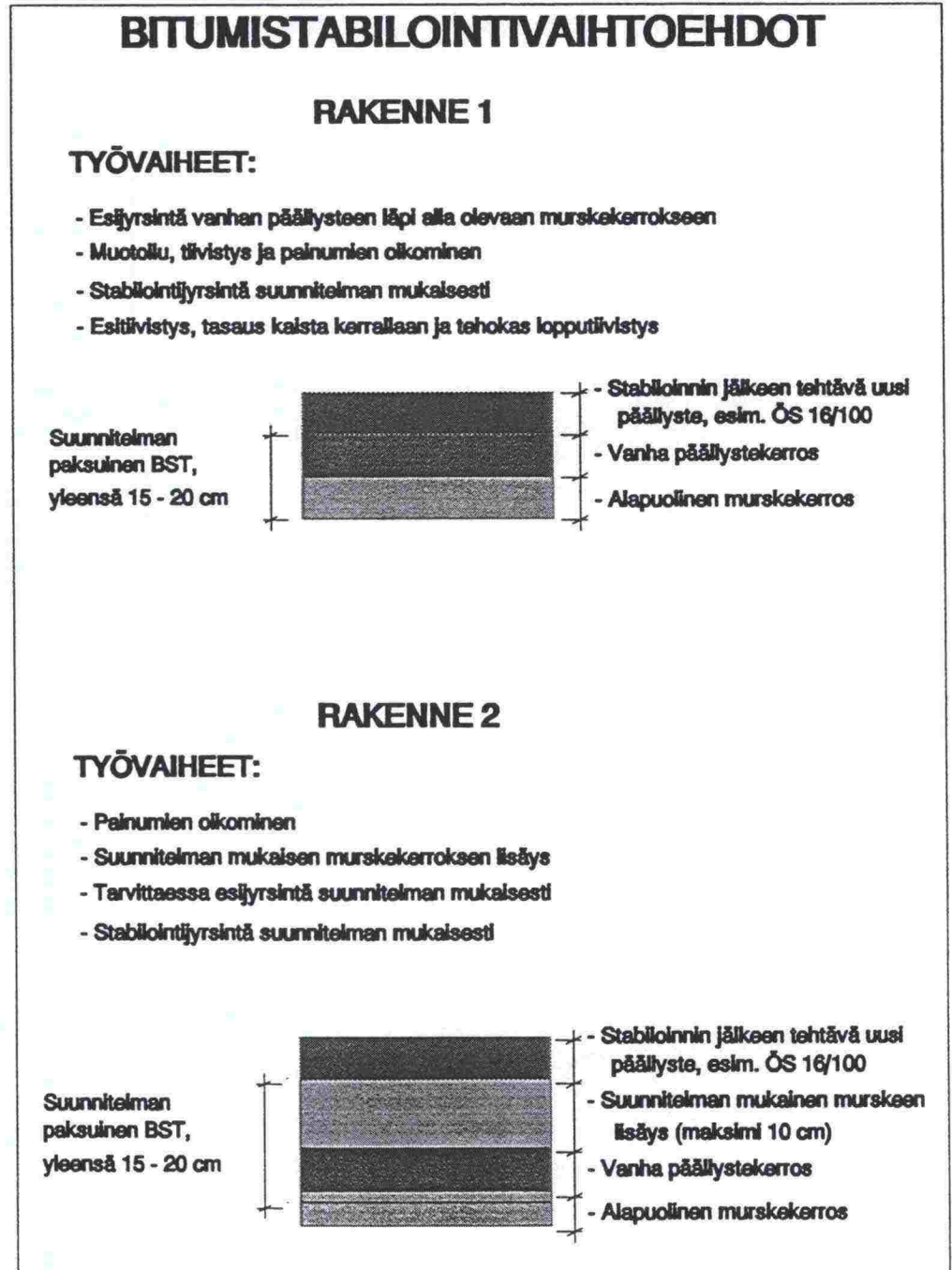
Nämä edellä olevat testaukset ovat hyvin tärkeitä, koska työsuorituksen aikana on vaikea todeta työn onnistuminen tasalaatuisuuden, rakeisuuden ja sideaineen tasaisen jakauman suhteen. Epäonnistumiset tulevat esiin vasta muutaman vuoden kuluttua.

Jyrsinsekoittimen tulee olla varustettu bitumin virtausmittarilla, jolla voidaan koko ajan seurata sideaineen käyttöä. Sideaineen syötön pitää olla vakio pinta-alaa kohti koneen nopeudesta riippumatta (sideaineen syöttöautomaattikka). Samoin syvyyden säilyttämiseksi tulee olla automaatti, joka pitää säädetyn syvyyden koko työn ajan.

Stabilointijyrsimen etenemisnopeus riippuu lähinnä vanhan päällysteen kovuudesta ja kiviaineksen rakeisuudesta ja käsittelysyvyydestä. Sekoitusnopeuteen vaikuttaa etenemisnopeus, bitumin läpivirtaus, sekoitusrummun pyörimisnopeus, jyrsinrummun ja sekoitustilan suhteesta/muodosta. Yleensä työvuoron teho on keskimäärin 5000 m², mutta ihanneolosuhteissa voidaan käsitellä jopa 10000 m².

8.1.2 Rakennusmenetelmät

Paikallasekoitus tehdään kuvan 13 menetelmillä. Menetelmien osavaiheita vaihdellaan kohteen esitutkimuksista saatujen tulosten perusteella. Stabiloitavan kerroksen tulee olla oikeassa kosteudessa ja korkeustasossa sekä riittävän kantava ennen varsinaista stabilointia.



Kuva 13: Bitumistabilointivaihtoehdot.

8.1.2.1 Rakenne 1

Menetelmään kuuluvat työt suoritetaan vaiheittain esitettyssä järjestyksessä. Työt voidaan jakaa esitöihin, varsinaiseen stabilointiin ja jälkihoitoon.

8.1.2.2 Rakenne 2

Rakenteessa 2 heikosti kantavat tiekohdat ($< 50 \text{ MN/m}^2$) vahvistetaan mitoituksen mukaisella murskekerroksella ennen stabilointia. Sen jälkeen työvaiheet tehdään kuten menetelmässä 1.

8.1.3 Esityöt

8.1.3.1 Esijyrsintä ja maakivien poisto

Vanha päällyste esijyrsitään ja sekoitettava kerros irrotetaan suunniteltuun syvyyteen. Tämä toimenpide helpottaa stabilointityötä. Stabiloitavasta kerroksesta poistetaan tai murskataan yli 100 mm kivet. Kivet poistetaan haraamalla.

8.1.3.2 Sekoitusjyrsintä

Sekoitusjyrsintä homogenisoi sitomattoman kerroksen. Eri kohteissa tarvitaan erilaisia käsittelytapoja, jotta lopputulokseksi saataisiin mahdollisimman tasalaatuinen kerros. Joissakin tapauksissa on suositeltavaa tehdä kohteen jyrsintä kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla suoritetaan pelkkä jyrsintä ja vasta toisella kerralla lisätään bitumi. Eri käsittelykerrat lisäävät luonnollisesti kustannuksia. Mutta kustannukset eivät kasva suoraviivaisesti, koska esijyrsintä lisää varsinaisen stabiloinnin tehokkuutta.

8.1.3.3 Tien pinnan muotoilu

Suurimmat painumat ja epätasaisuudet on poistettava. Tie tulee saada oikeaan muotoonsa, sillä muuten stabiloidusta kerroksesta ei saada tasapaksua.

8.1.3.4 Murskeen lisäys

Kantavuuden parantamiseksi ja tien tasaisuuden korjaamiseksi on useimmissa tapauksissa lisättävä mursketta.

8.1.3.5 Tasaushöyläys

Pinta muotoillaan lopulliseen muotoonsa ja tasoonsa. Materiaalin levitys sekä pinnan lopullinen tasaus tulee tehdä muutamalla höyläyskerralla, jotta kiviaines ei lajittuisi.

8.1.3.6 Tiivistys

Jyräyksessä stabiloitava materiaali tiivistyy homogeeniseksi kerrokseksi, jolla on sama tiiviys niin reuna-alueilla kuin keskialueella. Myös poistettujen maakivien reiät tulevat tiiviiksi. Tie tiivistetään parilla ylityskerralla ja erityisesti reunojen tiiviyteen on kiinnitettävä huomioita. Jos tie painuu huomattavasti työkoneiden alla, tulee kerroksen paksuus ja tien leveys tarkistaa ja korjata. Tähän tulee kiinnittää erityistä huomiota tien reuna-alueilla.

8.1.3.7 Kastelu

Materiaalin sopiva kosteus on hyvin tärkeä sekä bitumin sekoittumisen että massan tiivistämisen kannalta. Jos materiaali on liian kuiva, kerros ei tiivisty kunnolla. Jos materiaali on liian kosteata, vesi ja sideaine nousevat pintaan. Stabiloitava kerros kastellaan ennen stabilointijyrsintää siten, että veden ja sideaineen määrä vastaa noin 80 % kerroksen optimivesipitoisuudesta. Mutta kastelu ei saa olla liian suuri hienoaineksen paakkuuntumisen välttämiseksi. Kuivalla säällä massa kuivuu jo sekoituksen aikana niin paljon, että kiviaines täytyy kastella 1 - 3 % kosteammaksi ilman lämpötilasta riippuen.

8.1.3.8 Työjärjestys

Stabilointijyrsinnän ja tiivistyksen työjärjestys sovitaan ennen työn aloitusta. Yleensä tie stabiloidaan sekoituskaista kerrallaan (n. 2,5 m), jotta työ häiritsisi liikennettä mahdollisimman vähän. Kapeilla (alle 7 m) ja hiljaisilla teillä BST tehdään kolmena tai useampana sekoituskaistana.

8.1.3.9 Sideaineen sekoitus

Stabilointi tehdään joko vaahtobitumi- tai emulsiotekniikalla. Sekoitusjyrsinnän, sideaineen ruiskutuksen ja sekoitusnopeuden tulee olla sellainen, että sideaine jakautuu tasaisesti koko stabiloitavaan kerrokseen. VBST:ssa väliaineena on ilma ja BEST:ssa väliaineena toimii vesi. Hyvin sekoittunut massa on tasalaatuisen näköistä. Bitumi on vain hienoainekseen sitoutuneena ja isommat rakeet ovat paljaita.

VBST:ssa tuore massa on lähes saman väristä kuin kiviaineskin. Jos suutin on tukossa, jää sille kohdalle hiukan vaaleampia juonteita. Stabiloidun kerroksen pinta muuttuu kovettumisen myötä tummemmaksi.

VBST:ssa bitumi vaahdotetaan sekoittamalla siihen 2-3 % puhdasta vettä. Vaahtoaminen varmistetaan riittävän lämpimällä vedellä (min + 150 °C). Vaahtoaminen kontrolloidaan työvuoroa aloitettaessa ja aina katkosten jälkeen. Tilavuuden kasvun on oltava vähintään 15-kertainen. Tartuke saattaa menettää ominaisuutensa korkeassa lämpötilassa, joten bitumia ei saa lämmittää liian kuumaksi.

Poikittais- ja pitkittäissaumoissa seuraava sekoituskerta limitetään 100-150 mm aikaisemmin stabiloidun kerroksen kanssa. Eri kaistojen työsaumat pyritään saamaan samalle tasalle työvuoron päättyessä. Emulsion vesi on otettava huomioon BEST:ssa jäännösideainetta laskettaessa

8.1.3.10 Sään vaikutus stabilointiin

Stabilointi on suositeltavinta tehdä lämpimään aikaan (lämpötila > 5 °C). Kiviaines ei saa olla jäässä, lämpötila miel. yli +5°C. Vaahdon muodostuminen heikkenee huomattavasti lämpötilan laskiessa eikä peittoastetta saada riittäväksi. Bitumiemulsiolla on emulsioveden jäätyminen vaarana. Stabiloitu rakenne ei mielellään saa jäätyä ennen kuivumista, jotta jää ei rikkoisi jo syntyneitä sidoksia. Työ on keskeytettävä kovalla sateella jos tavoitevesipitoisuus ylittyy sateesta johtuen.

8.1.4 Muotoilu ja tiivistys

8.1.4.1 Alkutiivistys

Stabilotu kerros esitiivistetään (1 - 2 ylityskertaa), jonka jälkeen se tasataan ja muotoillaan (esim kumipyöräjäyrällä).

8.1.4.2 Tasaus ja muotoilu

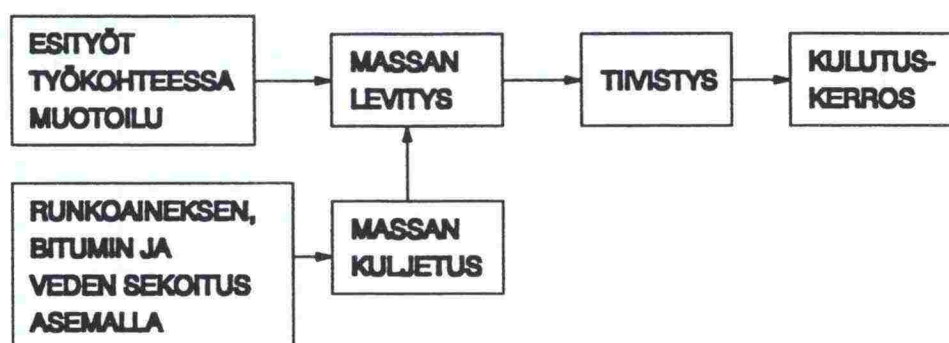
Tien pinnan lopullinen profilointi tehdään sekä pituus- että poikkisuuntaisesti koko kaistalle (mikäli mahdollista) samanaikaisesti. Tasaus on tehtävä huolellisesti välttämättä materiaalin lajittumista ja kerrospaksuusvaihteluita. Pinta tasataan lopulliseen muotoonsa.

8.1.4.3 Lopputiivistys

Tasattu kaista tiivistetään tehokkaasti stabiloinnin jälkeen vähintään 5 t painoisella täräjäjyrällä. Jyrän ylityskertamäärät määritetään koejyräyksellä.

8.2 Asemasekoitus

Asemasekoitusmenetelmässä valmistetaan stabilointimassa sekoitusasemalla, josta massa kuljetetaan rakennuspaikalle. Massa levitetään tiivistetylle ja muotoillulle pinnalle, jonka jälkeen kerros tiivistetään (kuva 14).



Kuva 14: Asemasekoitusmenetelmän työvaiheet.

8.2.1 Kalusto

Sekoitin on jatkuvasekoittainen tai annoskone. Vaahtobitumistabiloinnissa sekoittimeen on rakennettu tarkoitukseen sopiva bitumin vaahdotuslaite. Sekoitusaseman tulee olla riittävän tehokas, vähintään 100 t/h, suositeltavin on 150 - 250 t/h.

Levityskalustona käytetään asfalttilevittimiä, joilla pystytään levittämään paksuja kerroksia (20 cm) yhdellä kertaa. Tiivistykseen tulee käyttää painavia täräjäjyriä (minimipaino 5 t). Tiivistymistä on pystyttävä seuraamaan joko jyrään asennetuilla mittareilla tai esim. Troxler-laitteella.

8.2.2 Esityöt

Asemasekoituksessa suunnitelman mukaan tehtäviä esityöitä ovat:

- pohjan vahvistaminen
- routimisen torjunta ja tasoittaminen
- alusrakenteen muotoilu ja tiivistys.

Alustan tulee olla oikeassa korkeustasossa, tasainen, mahdollisimman tasalaatuinen ja riittävän kantava. Heikosti kantavat kohdat on korjattava suunnitelmissa osoitetulla tavalla.

8.2.3 Massan valmistus ja levitys

Massa valmistetaan bitumipitoisuudeltaan ja rakeisuudeltaan suunnitelmissa mainittujen ohjearvojen mukaisesti.

Vaahtobitumimassan/emulsiomassan kiviaines kastellaan siten, että sideaineen ja veden yhteismäärä (lisätty vesi, emulsion vesi + kiviaineksessa oleva vesi) vastaa massan tavoitekosteutta, mikä on yleensä 80% optimikosteudesta. Kosteus mitataan kuivatusmenetelmällä.

Massa levitetään asfaltti- tai muulla tarkoitukseen sopivalla levittimellä siten, että työsaumojen määrä jää mahdollisimman pieneksi. Vierekkäisten levityskaistojen päät pyritään saamaan saman pituisiksi työvuoron päättyessä.

8.2.4 Tiivistys

Tiivistys tehdään kuten paikallasekoituksessa.

8.3 Jälkihoito ja päällystäminen

Valmiin stabiloidun pinnan tulee olla tiivis, kiinteä, tasainen ja oikean muotoinen. Sen lujuus lisääntyy veden poistuessa rakennekerroksesta tiivistyksen aikana ja sen jälkeen. Lopullisen lujuuden saavuttaminen vie kuukausia.

Purkautumisvaaran takia stabiloidulla tieosuudella säilytetään nopeusrajoitus 60 km/h päällystämiseen saakka. Jos stabiloidulle pinnalle syntyy purkautumia, ne korjataan esim. asfaltilla. Päällystäminen suoritetaan irtoaineksesta puhdistetulle pinnalle. Se tehdään mahdollisimman pian.

9 LAADUNVALVONTA

9.1 Massanäytteet

Massanäytteitä otetaan yksi näyte/poikkileikkaus alkavaa 3000 m² työmäärää kohti, kuitenkin enintään 3 näytettä/työpäivä ja vähintään 12 kpl/kohde. Asemasekoituksessa näytteet otetaan asemalla. Paikallasekoituksessa näytteet otetaan ennen tiivistämistä stabiloidun kaistan poikkisuunnan neljännespisteistä vuorotellen reunasta, keskeltä ja vastakkaisesta reunasta. Massanäytteistä tutkitaan bitumi- ja vesipitoisuus sekä rakeisuus.

9.2 Sideaineen laatu ja määrä

Sideaineen tulee olla suunnitelmassa määrättyä laatua. Sideaineena käytetään VBST:ssa pehmeää bitumia B-80 - B-800 ja BEST:ssä hitaasti murtuvaa bitumiemulsiota, jossa jäännösbitumin tunkeuma on 70 - 900 1/10 mm.

Sideainemenekkiä seurataan jatkuvasti ja sideainesyötön tulee pysyä vakiona koko stabilointityön ajan. Työvuorittain ja koko kohteeseen käytetyn sideainemäärän täytyy olla vähintään suunnitelmissa esitetyn ohjearvon mukainen.

Kiviaineksen ja bitumin sekoittuminen ja tasainen jakaantuminen tarkastetaan työtä aloitettaessa tarvittaessa koesekoituksella. Sekoituksen tasalaatuisuutta valvotaan jatkuvasti työn aikana (sideaineen pisaroituminen käsitestissä).

VBST:ssa voidaan käyttää korkean lämpötilan kestävästä tartuketta 0,5 painoprosenttia sideaineen määrästä.

9.3 Rakeisuus- ja vesipitoisuus

Kiviaineksen rakeisuuskäyrän tulee sijaita kuvan 3 ohjealueella hyvin suhteistuneena. Jos stabiloitava kiviaines sisältää humusta tai muita eloperäisiä maa-aineksia tai jos kiviaineksena käytetään moreenia, kiviaineksen rakeisuuden ja sideainemäärän suhteitus on aina tehtävä ennakkokein.

Stabiloinnissa käytetty vesi ei saa sisältää humusta tai muita epäpuhtauksia, jotka haittaavat massan sitoutumista.

Kiviaineksesta tutkitaan vesipitoisuus ennen stabilointia. Troxleria käytettäessä on huomattava, että kerroksessa oleva bitumi vaikuttaa tuloksiin. Stabiloitavan kerroksen vesipitoisuuden täytyy olla noin 80 % optimivesipitoisuudesta ennen tiivistystä.

9.4 Kerroksen paksuus

Kerroksen paksuus mitataan koekuopista lopputiivistyksen jälkeen. Stabiloidun kerroksen paksuutta seurataan suunnitelman mukaisesti tai työn alussa 50 metrin välein. Kun tasaisuus vakiintuu, tehdään yksi mittaus jokaista 1000 m² kohti mittaamalla kerrospaksuus kaistan molemmilta reunoilta. Valmiin kerroksen paksuuden keskiarvon tulee olla vähintään sama kuin suunnitelman mukainen paksuus. Valmiin kerroksen paksuus yksittäisestä koekuopasta mitattuna saa alittaa enintään 20 mm suunnitelman mukaisen paksuuden.

9.5 Tiivistys ja pinnan tasaisuus

Tiiviuden kehittymistä seurataan työn aikana radiometrisillä tiivysmittareilla (jyrään kytketty tai erillinen mittari). Tiivistymistä tarkkaillaan työn alussa 50 m välein molemmilta ajokaistoilta kunnes todetaan, ettei tiiviyttä enää lisäännä. Sen jälkeen tiivistystarkkailua tehdään 500 m välein. Tulokset kirjataan mittauspisteittäin. Rakenteen tai suhteituksen vaihtuessa tiivistystarkkailu alkaa alusta.

Stabiloidun pinnan tasaisuutta ja poikkikaltevuutta tarkkaillaan jatkuvasti työn aikana.

9.5.1 Tiiviyys

Stabiloidun kerroksen tiiviuden yksittäisen arvon tulee olla vähintään 92 % ja keskiarvon vähintään 95 % parannetusta Proctor-tiivyydestä tai koejyräyksellä määritetystä vertailuarvosta. Mittaus tehdään suoramittauksena mittaputkea käyttäen. Säteilymittalaite kalibroidaan ennen mittauksen aloitusta (ks. Tienrakennuksen yleiset perusteet kohta 42 Tiiviuden mittaus TIEL 2212454).

9.5.2 Tasaisuus

Valmiin pinnan tasaisuus pituus- ja poikkisuuntaan ja kaltevuus mitataan 5 m oikolaudalla. Tasaisuus voidaan mitata myös palvelutasomittarilla. Suurin sallittu epätasaisuus 5 metrin matkalla on 16 mm. Sivukaltevuusvaatimukset ovat samat kuin stabiloinnin päälle tehtävälle päällysteelle asetetut vähimmäisarvot. Suurin sallittu sivukaltevuuden poikkeama on $\pm 0,5$ % ohjearvosta.

10 JÄLKISEURANTA

10.1 Työn loppuraportti

Tarkastuksessa selvitetään, kuinka hyvin työ vastaa sille asetettuja vaatimuksia stabiloinnin paksuuden, leveyden, tiiviuden, pinnan korkeuden ja kaltevuuksien sekä kantavuuden osalta. Kantavuus mitataan pudotuspainolaitteella samoista mittauspisteistä, joista alustan kantavuus on mitattu. Tulokset kootaan loppuraportiksi, josta ilmenevät:

- stabilointityön kustannukset
- vanhan rakenteen PPL-tulokset
- stabiloidun kiviaineksen rakeisuus ja laatu
- bitumipitoisuus ja lujuus
- vesipitoisuus ja tiiviyys

- stabiloidun kerroksen paksuus
- taipumasuppilot pudotuspainolaitteella päällysteen päältä.

Loppuraportissa arvioidaan myös syyt asetettujen tavoitteiden ja tulosten eroihin.

10.2 Jälkiseuranta

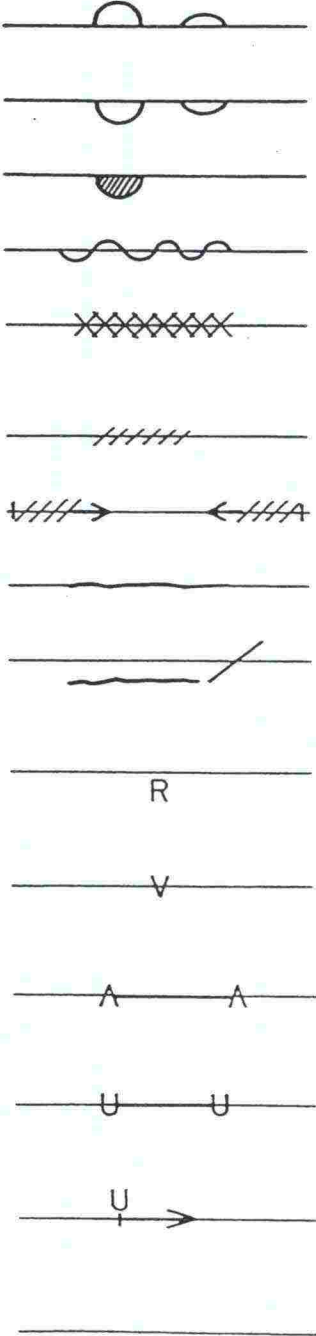
Jälkiseuranta tehdään seuraavana keväänä. Seurannassa mitataan päällysteen taipumasuppilot pudotuspainolaitteella. Tulokset kootaan loppuraporttiin.




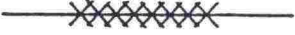




10.3 Pitkäaikaisseuranta

Bitumistabilointi saavuttaa lopullisen lujuutensa useiden kuukausien tai jopa vuosien kuluttua valmistumisesta. Stabiloidun rakenteen kestoikää voidaan haluttaessa seurata mittaamalla sen toiminnallista (tien käyttäjän näkökulma) ja rakenteellista (tien pitäjän näkökulma) kuntoa. Tien kunto ja palvelutaso määritetään pudotuspaino-, profilometri- ja palvelutasomittauksin.

Merkinnät

Vaurioiden esittäminen pituusleikkauksessa

Merkintä ja esitystapa	Selitys
<p>Päällystettyjen teiden vauriot</p> 	<ul style="list-style-type: none"> * Keväinen routakohouma; suuri, pieni * Keväinen routapainanne; suuri, pieni Kesälläkin havaittava painanne Epätasaista painumaa * Paha, mahdollisesti reikäinen tai paikattu verkkohalkeama * Lievää verkkohalkeamaa * Pitkähkö verkkohalkeillut osuus alkaa * Ajamista haittaava pituushalkeama keskellä * Ajamista haittaava pituushalkeama oikealla kaistalla ja vino halkeama Ajamista haittaava reunasortuma oikeassa reunassa Liian pieni sivukaltevuus ainakin toisella kaistalla (virhe vähintään 2% yksikköä) lyhyellä matkalla 20m Liian suuri sivukaltevuus pitkällä matkalla Painuneet urat (syvemmät kuin viereisillä osuuksilla) Haitallisesti urautunut osuus alkaa (nastarengastuksen osuus pieni), erityisesti vasen kaista Ehjä tieosuus (tai kauttaaltaan vaurioitunut tieosuus, sillä koko tien pituudelle ulottuvia vaurioita ei yleensä piirretä koko matkalle) * Pituusleikkauksissa ensisijaisesti esitettävät vauriotyypit

Merkintä ja esitystapa	Selitys
<p>Soratien vauriot</p>	
	<p>Keväinen routakohouma; suuri, pieni</p>
	<p>Keväinen routapainanne; suuri, pieni</p>
	<p>Soratiestä poistettuja / poistettavia lohkareita</p>
	<p>Keväällä lähes ajokelvottomaksi pehmennyt osuus</p>
	<p>Keväällä pinnalta pahasti pehmenevä osuus</p>
	<p>Keväällä pinnalta pahasti pehmenevä osuus alkaa</p>
	<p>E erityisen heikko tienreuna oikealla</p>
	<p>Soratien pinnassa keväällä havaittu pituus- halkeama</p>

Malli A

Maaperänäytteet

Paaluluku uusi	vas/oik vanha	Näytenro Paksuus m	Routivuus Maalaji	Läpäisyprosentti			
				.02	.074	2	64
10	4900 v 2	.05	ehjä ÖS				
		7 .18	rton SrM	2	8	46	80
		8 1.10	rva HkMr	6	13	59	100
50	4840 v 2	9 .05	rva HkMr		15	59	72
		10 .45	rva SrMr	4	9	45	79
		11 1.00	rva HkMr	6	18	67	90
155	4755 v 2	.05	rva HkMr				
		12 .15	rton kaHk		19	97	100
		13 .80	rva SaSi lohkareita				
210	4700 v 2	14 .20	rva HkMr	9	21	62	80
		15 1.00	rva SrMr	4	11	49	72
275	4635 v 2	16 1.20	rton SrMr	3	9	47	69
375	4535 v 2	17 .30	rva HkMr	11	23	66	87
		.10	Tv				
		18 .90	rva SiMr		60	85	100
420	o 0	.20	Tv				
		97 .80	rva Si märkä		69	100	
450	o 0	.15	Tv				
		.50	rva Si märkä				
490	o 3	.10	Tv				
		1.30	rva Si märkä				
520	o 0	98 1.00	rva SiMr		65	92	100
675	4220 v 2	30 .10	rva HkMr	5	16	60	85
		31 .10	rton keHk	3	17	96	100
		32 .70	rva SrMr	5	19	45	75

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 4/1994 Salaojan ympärysaineen vaikutus raudan saostumisessa. TIEL 3200214
- 5/1994 Syyt yritysten sijoittumiseen liikenteellisten solmukohtien läheisyyteen. TIEL 3200216
- 6/1994 Helsingin seudun pääväylien liikenteen hallinta. TIEL 3200217
- 7/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet, tutkimusohjelma (TPPT), Tutkimussuunnitelma vuosille 1994-2000. TIEL 3200218
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 9/1994 Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne. TIEL 3200220
- 10/1994 Rakennussuunnittelun kehittäminen; Selvitys rakennussuunnittelun sisällyttämisestä rakentamiseen. TIEL 3200221
- 11/1994 Radiometrinen tiiviysmittauslaitteiden käyttäminen päällysteiden tyhjätilamittauksiin. TIEL 3200222
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993; Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 13/1994 Kotitalouksien henkilöauton omistus ja käyttö vuonna 1990. TIEL 3200224
- 14/1994 Tienvarsien ja -luiskien niitto ja vesakonraivaus. Tuotannon palvelukeskus, Kuopion kehitysyksikkö
- 15/1994 Kestävä kehitys ja kaupunkirakenne - urbaani palapeli. TIEL 3200225
- 16/1994 Päällysteiden kulutuskestävyyttä mittaavien sivurullakulutuslaitteiden vertailututkimus. TIEL 3200226
- 17/1994 Liikenteen ja maankäytön vuorovaikutus; Vaikutusten arviointia pääkaupunkiseudun MEPLAN-koemallilla. TIEL 3200227
- 18/1994 Liikenne palvelee ja muuttaa yhdyskuntaa - maankäytön ja liikenteen vuorovaikutus. TIEL 3200228
- 19/1994 Kelin kokemisen, rengaskunnon ja rengastyypin vaikutus nopeuskäyttäytymiseen. TIEL 3200229
- 20/1994 Kansalaisten ja suunnittelijoiden vuoropuhelu Pasilanväylän yleissuunnittelussa. TIEL 3200230
- 21/1994 HOV-ratkaisut; Liikenteen hallintaprojekti S6. TIEL 3200231
- 22/1994 Nopeus-liikennefunktioiden muodostuminen LAM-aineistosta. TIEL 3200232
- 23/1994 Selvitys tavanomaisen risteys- tai vesistö sillan rakennuttamisesta. TIEL 3200233
- 24/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet - tutkimusohjelma (TPPT); Työn toiminta- ja laatusuunnitelma vuodelle 1994. TIEL 3200234