



Kuva: © 5021/08/004 Helsinki 1996
Lupa: n:o 98 Kaupunkimittausosasto, Helsinki 1998

ESIRAKENTAMINEN 1998

Jari Nauska
Jorma Havukainen



HELSINGIN KAUPUNKI
KIINTEISTÖVIRASTO
GEOTEKNINEN OSASTO

ESIRAKENTAMINEN 1998

**Jari Nauska
Jorma Havukainen**

ALKUSANAT

Tämän tiedotteen aineiston kokoamisesta ja kirjoitustyöstä ovat vastanneet Jari Nauska ja Jorma Havukainen. Laativuudessa ovat olleet mukana myös Mikko Leppänen ja Juha Forsman. Tiedotteen ovat rahoittaneet Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto ja Viatek Oy. Työryhmän lisäksi tiedoteluonnos on ollut keskeisimpien käyttäjä- ja sidosryhmien kommentoitavana.

Tiedote perustuu Helsingin kaupungin esirakentamiskokemuksiin, joita on täydennetty muiden rakennuttajien ja alan konsulttien kokemuksilla esirakentamisesta.

Helsingin kaupunki on tuottanut esirakennettua maata vuosina 1981...1997 noin 145 ha, mihin on käytetty yhteensä noin 400 Mmk (noin 23...24 Mmk/vuosi). Esirakennettua maata on syntynyt vuosittain keskimäärin noin 8,5 ha ja keskimääräiset esirakentamiskustannukset ovat olleet noin 280 mk/m².

Tiedote on tarkoitettu ensisijaisesti maankäytön suunnittelijoille, rakentamisen ohjelmoinnista ja budjetoinnista vastaaville henkilöille sekä rakennuttajille, urakoitsijoille materiaalitoimittajille ja rakennushankkeen suunnittelijaosapuolille. Tiedotteen toivotaan tavoittavan myös rakennusvalvonnasta ja ympäristöasioista vastaavat tahot.

Helsingissä 29.05.1998



Ilkka Vähäaho

osastopäällikkö

TIIVISTELMÄ

Helsingin kaupungissa esirakentaminen otettiin käyttöön 1980-luvun alussa ja kuuluu tänä päivänä keskeisesti Helsingin kaupungin geotekniseen toimintaan. Helsingin kaupunki on esirakentanut maata vuosittain keskimäärin noin 8,5 ha, minkä kustannukset ovat olleet keskimäärin noin 23,5 Mmk.

Esirakentamisella tarkoitetaan rakentamisedellytysten luomista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille, sekä pehmeikköalueiden laadun parantamista maarakennustekniikan keinoin ennen alueen varsinaista rakentamista. Esirakentamisen ansiosta saavutetaan merkittäviä säästöjä alueen käytönaikaisissa kustannuksissa. Esirakentamisen piiriin katsotaan kuuluvan myös alueelliset kaivu-, louhinta- ja täyttötöyt. Myös saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan katsoa kuuluvan esirakentamisen piiriin.

Esirakentaminen tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisin. Eräät esirakentamismenetelmät ovat aikaa vaativia, esimerkiksi esikuormitus 1...3 vuotta. Mitä aikaisemmin esirakentaminen voidaan aloittaa sitä suurempi keinovalikoima on käytettävissä. Esirakentaminen on aina liitettävä kunnalliseen päätöksentekoon, täten aikaisin vaihe, jolloin esirakentaminen voidaan aloittaa, on asemakaavaluonnosvaihe. Suositeltavinta on kuitenkin, että esirakentaminen aloitetaan valtuuston hyväksymään asemakaavaan sisältyvän esirakentamissuunnitelman pohjalta kaupunginhallituksen annettua siihen luvan.

Esirakentamismenetelmiä on olemassa useita. Menetelmän valintaan vaikuttavat mm. käytettävissä oleva rakentamisaika, alueen pohjasuhteet, alueen tuleva käyttötarkoitus, alueelle tuleva kuormitus sekä kustannukset. Käytetyimpiä esirakentamismenetelmiä ovat:

- esikuormituspenger
- esikuormituspenger + liuskapystyöjitus
- pilari- ja massastabilointi
- keventäminen
- massanvaihto
- geovahvisteilla lujittaminen

Näiden menetelmien lisäksi on olemassa myös muita vähemmän käytettyjä menetelmiä, kuten esim. paalutus ja vakuumikonsolidointi. Esirakentamismenetelmiä voidaan käyttää joko yksinään tai menetelmiä voidaan myös yhdistää.

Merkittävämpiä esirakennettuja alueita Helsingissä ovat mm Pikku-Huopalahti, Mellunmäen keskus, Kurkimäki, Pukinmäen kolmio, Torpparinmäki, Munkkivuoren laajennus (Tali), Porsahdentien itäpuolinen alue, Ruoholahti ja Herttoniemenranta.

Tulevaisuudessa merkittäviä esirakennettavia alueita tulevat olemaan mm. Arabianranta ja Viikin alueet.

ABSTRACT

It was in the early 1980's that prebuilding technology began to be used in Helsinki and today prebuilding is included in normal geotechnical engineering in the city of Helsinki. Approximately 8,5 hectares of land has been prebuilt annually at the average costs some 23,5 mill.FIM.

By prebuilding is meant the creating of conditions for areas of geotechnically very difficult sites suitable for building. It also means improvement of geotechnical quality of sites prior to actual building by the means of geotechnical engineering. Remarkable savings in repair and operating costs can be achieved by prebuilding. Prebuilding also includes increasing of land suitable for building by reclamation from the sea and large excavation, quarry and earthfilling works. Cleaning of contaminated soil can also be included in prebuilding.

The prebuilding process should be started as early as possible. Some of the methods are timeconsuming, for instance preconsolidation 1...3 years. The earlier the process is started the more alternative methods are to be chosen. The administrative systems required for prebuilding operations have to be included in the normal decision-making practice of the municipality. Therefore the earliest time to start the prebuilding project is when the preliminary town plan sketches are printed. However, it's recommended that the prebuilding operations begin after the confirmation of the town plan and the printed design of prebuilding project and at last - the prebuilding permit of the city government.

There are several types of prebuilding methods. When choosing the proper method it must be taken into account among others time to be available, the geotechnical properties of the subgrade, the planned use of the site, the final loadings of the ground and the total costs. The most common prebuilding methods are:

- preconsolidation by an embankment
- preconsolidation by an embankment + vertical drainage
- deep- and mass-stabilization
- discharge
- soil displacement
- use of reinforcing geosynthetics

Also some other less used methods can be applied, for example pile driving and vacuum consolidation. Prebuilding methods are usually applied alone but it's also possible combine one method with another.

Among the most significant prebuilt sites in Helsinki are Pikku-Huopalahti, center of Mellunmäki, Kurkimäki, Pukinmäki, Torpparinmäki, Munkkivuori (Tali), Porslahti, Ruoholahti and Herttoniemenranta areas.

In the near future, among others Arabianranta and Viikki areas will be the main prebuilding sites in Helsinki.

SAMMANFATTNING

I början av 80-talet tog man i bruk förberedande byggande i Helsingfors stad och idag hör det till de centrala geotekniska åtgärderna som staden utför. Antalet förberedande byggande i Helsingfors har varit årligen ca. 8,5 ha, vilket betyder kostnader ca. 23,5 Mmk per år.

Med förberedande byggande menas att man skapar byggnadsförutsättningar på tidigare obyggd dålig mark, samt att förbättra kvaliteten på mjuk mark, med jordbyggnadstekniska medel, innan områdets egentliga byggande. Till förberedande byggandet anser man även att områdesarbeten som grävning, sprängning och fyllning hör. Även att sätta förorenad mark i skick kan räknas höra till förberedande byggande. Med förberedande byggande erhåller vi märkbara inbesparingar på områdets kostnader under användningstiden.

Förberedande byggandet skall påbörjas så tidigt som möjligt. Endel förberedande byggande metoder är tidkrävande, t.ex. förbelastningsbank 1...3 år. Ju tidigare man börjar desto större metodurval har man att tillgå. Förberedande byggande skall alltid sammankopplas med det kommunala beslutsfattandet, av den anledningen att det tidigaste skedet då förberedande byggande kan påbörjas är då ett utkast till en stadsplan föreligger. Det kan dock rekommenderas att förberedande byggande påbörjas först då stadsstyrelsen gett tillåtelse därom utgående från godkända förberedande byggande planer av fullmäktige för stadsplanerat område.

Det finns många förberedande byggande metoder. Valet av metod påverkas av t.ex. byggnadstiden, områdets grundningsförhållanden, områdets kommande användning, planerad belastning för området samt kostnader. De vanligaste förberedande byggande metoderna är:

- förbelastningsbank
- förbelastningsbank + vertikaldränering
- pelar- och masstabilisering
- lättfyllning
- urgrävning och återfyllning
- förstärkning med geotextiler

Utöver dessa metoder finns det även andra mindre använda metoder som t.ex. pålning eller vakuumkonsolidering. Förberedande byggande metoderna kan användas såväl enskilt som i olika kombination med varandra.

Viktiga förberedande byggande områden i Helsingfors är bl.a. Lillhoplax, Mellungsbacka centrum, Tranbacka, Bocksbacka, Torparbacken, Munkshöjdens utvidgning (Tali), områden öster om Porslaxvägen, Gräsviken och Hertonsstrand.

Kommande viktiga förberedande byggande områden kommer att vara Arabiastranden och områden i Vik.

TERMINOLOGIA

ESIRAKENTAMISELLA tarkoitetaan rakentamisedellytysten luomista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille, sekä pehmeikköalueiden laadun parantamista (mm. painumat, vakavuus) maarakennustekniikan keinoin ennen alueen varsinaista rakentamista. Esirakentamisen piiriin katsotaan kuuluvaksi myös alueelliset kaivu-, louhinta- ja täyttötöyt. Myös saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan katsoa kuuluvan esirakentamisen piiriin.

ESIKUORMITUSPENGGER toteutetaan alueen esirakentamisen yhteydessä. Esikuormitus tarkoittaa maapohjan kuormittamista ennen alueen varsinaista rakentamista. Esikuormittaminen yhdistetään usein pystyjoitukseen. Esikuormittaminen ei välttämättä ole ylikuormittamista.

YLIPENGGER on rakennusalueen ylikuormittamista, siten että varsinaisen rakennustason yläpuolelle tehdään suunnitelman mukainen pengger, jolla maapohjan painumia pyritään nopeuttamaan. Ennen varsinaista rakentamista ylipenger poistetaan.

PYSTYJOJITUS tarkoittaa esirakennettavaan maapohjaan tehtävää pystysuoraa ojitusta. Pystyjoituksen avulla voidaan nopeuttaa maapohjan painumia. Pystyjoitusmateriaalit ovat nykyään muovisia liuskapystyjoja. Pystyjoitus toteutetaan yhdessä esikuormituspenkereen kanssa.

VAKUUMIKONSOLIDOINTI on maapohjan kuormittamista alipaineen vaikutuksesta. Maapohjaan asennetaan pystyjojat painuman nopeuttamiseksi. Esikuormituspengger on korvattu alipainepumpulla, jolla saadaan maapohjaan kohdistuva kuormitus yleensä suuremmaksi kuin esikuormituspenkereellä ilman stabiliteettiongelmia.

KEVENTÄMINEN tarkoittaa maapohjan kuormituksen keventämistä normaaleja kiviainesmateriaaleja kevyemmillä materiaaleilla. Keventämällä saadaan maapohjan painumat pienemmäksi ja stabiliteetti paremmaksi.

MASSANVAIHTO tarkoittaa pehmeiden ja huonosti kantavien tai saastuneiden maamassojen vaihtamista. Massanvaihto toteutetaan kitkamaalajeilla.

STABILOINTI tarkoittaa maapohjan käsittelemistä siten, että heikosti kantaviin maalajeihin sekoitetaan sideainetta, joka pohjamaan kanssa reagoidessaan muodostaa pohjamaahan kantavia pilareita (pilaristabilointi) tai yhtenäisen laattamaisen rakenteen (massastabilointi).

GEOVAHVISTE on synteettisistä polymeereistä valmistettu kudος, verkko tai liuska. Geovahvisteita käytetään parantamaan maapohjan kantavuutta ja stabiliteettia.

SISÄLLYSLUETTELO

	ALKUSANAT.....	1
	TIIVISTELMÄ	2
	ABSTRACT	3
	SAMMANFATTNING.....	4
	TERMINOLOGIA.....	5
	SISÄLLYSLUETTELO	6
1	JOHDANTO	10
2	ESIRAKENTAMINEN	11
	2.1 KÄSITE, TAVOITE JA TARKOITUS.....	11
	2.2 ESIRAKENTAMISTA EDELLYTTÄVÄT ALUEET.....	13
3	ESIRAKENTAMISEN PROSESSI	15
	3.1 ESIRAKENTAMISEN SOVELTUVUUS.....	15
	3.2 ESIRAKENTAMISEN AJOITUS.....	16
	3.3 LIITTYMINEN KAAVOITUKSEEN	16
	3.4 LUPAKÄSITTELYN JA TOTEUTUKSEN KULKU.....	19
	3.5 LIITTYMINEN RAKENTAMISEEN	20
	3.5.1 Pääperiaatteet	20
	3.5.2 Ajoittuminen ja pääsidosryhmät.....	20
	3.6 MASSATALOUS.....	22
	3.7 RAHOITUS.....	23
	3.7.1 Esirakentamisen rahoitus	23
	3.7.2 Takaisinperintä	24
	3.7.3 Saastuneiden maiden saneerauksen rahoitus	24
4	ESIRAKENTAMISMENETELMÄT.....	25
	4.1 ESIKUORMITTAMINEN.....	25
	4.1.1 Esikuormituspenger	25
	4.1.2 Pystyjoitus ja esikuormituspenger.....	25
	4.1.3 Vakuumikonsolidaatio.....	26
	4.2 KEVENTÄMINEN.....	28
	4.2.1 Johdanto	28
	4.2.2 Kevytsora	28
	4.2.3 EPS	28
	4.2.4 Muut keventeet (tuhka, renkaat)	29
	4.3 MASSANVAIHTO.....	32
	4.3.1 Massanvaihto kaivamalla	32
	4.3.2 Massanvaihto pengertämällä	32

4.4	STABILOINTI.....	32
4.4.1	Pilaristabilointi.....	32
4.4.2	Massastabilointi.....	33
4.4.3	Maan jäädytys	34
4.5	PAALUTTAMINEN.....	35
4.5.1	Pengerpaalutus.....	35
4.6	GEOVAHVISTEET.....	35
4.7	MUUT MENETELMÄT	36
4.7.1	Pudotustiivistys	36
4.7.2	Tiivistyspaalutus.....	37
4.7.3	Täryhuuhtelu	37
5	ESIKUORMITTAMINEN.....	39
5.1	SUUNNITTELU	39
5.1.1	Laatutavoitteet	39
5.1.2	Lähtötiedot	39
5.1.3	Geotekninen mitoitus	40
5.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen.....	41
5.1.5	Kustannustarkastelut	41
5.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	42
5.2	RAKENTAMINEN	42
5.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys.....	42
5.2.2	Olosuhdetekijät.....	43
5.2.3	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	43
5.2.4	Työn suorittamisen dokumentointi	45
5.2.5	Laadunvarmistus	45
5.2.6	Jälkiseuranta.....	46
6	KEVENTÄMINEN	48
6.1	SUUNNITTELU.....	48
6.1.1	Laatutavoitteet	48
6.1.2	Lähtötiedot	48
6.1.3	Geotekninen mitoitus	48
6.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen.....	50
6.1.5	Kustannustarkastelut	51
6.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	52
6.2	RAKENTAMINEN	52
6.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys.....	52
6.2.2	Olosuhdetekijät.....	53
6.2.3	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	54
6.2.4	Laadunvarmistus	54
6.2.5	Jälkiseuranta.....	55

7	MASSANVAIHTO	56
7.1	SUUNNITTELU	56
7.1.1	Laatutavoitteet	56
7.1.2	Lähtötiedot	56
7.1.3	Geotekninen mitoitus	56
7.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen	57
7.1.5	Kustannustarkastelut	57
7.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	58
7.2	RAKENTAMINEN	59
7.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys	59
7.2.2	Olosuhdetekijät	60
7.2.3	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	60
7.2.4	Laadunvarmistus	60
7.2.5	Jälkiseuranta	61
8	STABILOINTI	63
8.1	SUUNNITTELU	63
8.1.1	Laatutavoitteet	63
8.1.2	Lähtötiedot	63
8.1.3	Geotekninen mitoitus	64
8.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen	66
8.1.5	Kustannustarkastelut	66
8.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	66
8.2	RAKENTAMINEN	67
8.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys	67
8.2.2	Olosuhdetekijät	68
8.2.3	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	68
8.2.4	Työn suorittamisen dokumentointi	69
8.2.5	Laadunvarmistus	69
8.2.6	Jälkiseuranta	70
9	PAALUTTAMINEN	71
9.1	SUUNNITTELU	71
9.1.1	Laatutavoitteet	71
9.1.2	Lähtötiedot	71
9.1.3	Geotekninen mitoitus	71
9.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen	72
9.1.5	Kustannustarkastelut	73
9.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	73
9.2	RAKENTAMINEN	73
9.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys	73
9.2.2	Olosuhdetekijät	73
9.2.3	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	74
9.2.4	Työn suorittamisen dokumentointi	74
9.2.5	Laadunvarmistus	74
9.2.6	Jälkiseuranta	74

10	GEOVAHVISTEET	75
10.1	SUUNNITTELU	75
10.1.1	Laatutavoitteet	75
10.1.2	Lähtötiedot	75
10.1.3	Geotekninen mitoitus	75
10.1.4	Ympäristön huomioon ottaminen	75
10.1.5	Kustannustarkastelut	76
10.1.6	Suunnitelma-asiakirjat	76
10.2	RAKENTAMINEN	76
10.2.1	Työn suorittaminen ja työjärjestys	76
10.2.2	Olosuhdetekijät	76
10.2.3	Työn suorittamisen dokumentointi	76
10.2.4	Laadunvarmistus	77
10.2.5	Jälkiseuranta	77
11	MENETELMIEN YHTEISKÄYTTÖ	78
12	SAASTUNEET MAAT	81
12.1	KUNNOSTUSPERUSTEET	81
12.2	TUTKIMUSVAIHEET JA POHJATUTKIMUKSET	82
12.3	KUNNOSTUSMENETELMÄT	84
12.4	SAASTUNEET MAAT JA ESIRAKENTAMINEN	86
13	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	87
	KIRJALLISUUS	89
	LIITTEET	92

JOHDANTO

Esirakentamista käsittelevä tiedote on laadittu Helsingin kaupungin tarpeisiin. Geotekninen osasto on laatinut v. 1985 tiedotteen ”Esirakentamisen kehittäminen”. Esirakentamismenetelmien jatkuvasti kehittyessä ja uusien pohjanvahvistusmenetelmien tullessa markkinoille on syntynyt tarve päivittää aikaisemmin laadittu tiedote.

Nyt laadittava tiedote pohjautuu v. 1985 laadittuun tiedotteeseen. Tiedotteessa on käsitelty eri esirakentamismenetelmät ja niiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät keskeiset asiat. Tiedotetta ei ole tarkoitettu mitoitusohjeeksi, vaan tarkoituksena on esitellä esirakentamista yleisellä tasolla. Nykyisin saastuneet maat ovat nousseet merkittävästi esille ja niinpä saastuneet maat ja niiden käsittely on myös sisällytetty tiedotteeseen.

Helsingissä on suurin osa pohjasuhteiltaan hyvistä rakennusalueista jo käytetty ja uudisrakentaminen on jouduttu suuntaamaan huonopohjaisille pehmeikkö-alueille. Tämän myötä geotekniset ongelmat ovat kasvaneet ja pohjarakennuskustannukset ovat nousseet merkittävästi.

Rakennukset ja tärkeät kunnallistekniikan putkijohdot perustetaan pehmeikkö-alueilla yleensä paaluilla kantavan pohjamaan varaan. Sen sijaan piha-alueet ja muut rakenteet jätetään yleensä maan varaan. Täten paaluttamattomien alueiden painumisen vuoksi korjaus- ja kunnossapitokustannukset lisääntyvät rakenteiden vaurioituessa. (Havukainen 1985)

Helsingissä on ryhdytty parantamaan huonopohjaisia alueita esirakentamalla. Esirakentaminen otettiin käyttöön 1980 -luvun alussa ja kuuluu tänä päivänä keskeisesti Helsingin kaupungin suorittamaan geotekniseen toimintaan. Merkittävimpiä esirakentamalla parannettuja rakennusalueita ovat mm. Pikku-Huopalahti, Mellunmäen keskus, Kurkimäki, Pukinmäen kolmio, Torpparinmäki, Munkkivuoren laajennus (Tali), Porslahdentien itäpuolinen alue, Ruoholahti ja Herttoniemenranta.

Esirakentamisen avulla voidaan pehmeikköalueen laatua parantaa poistamalla haitalliset pitkäaikaiset painumat ja lisäämällä maaperän kantokykyä. Ennen varsinaista rakentamista tehtävien pohjanvahvistustoimenpiteiden laajuus ja tekotapa määritetään tarkoitusta varten laadittavassa esirakentamissuunnitelmassa. (Havukainen 1985)

Esirakentaminen

- sisältää ennakkoitoimenpiteet, joiden jälkeen maa- ja vesialueet on rakennettavissa yleisesti käytössä olevin menetelmin
- on alueen muuttamista rakentamiskelpoiseksi
- on alueen kunnallistekniikan järjestelmän ja liikenneväylien toimivuuden varmistamista pitkällä tähtäyksellä
- on rakennusoikeuden edellytysten ja kaavoitusmahdollisuuksien luomista joutoalueille

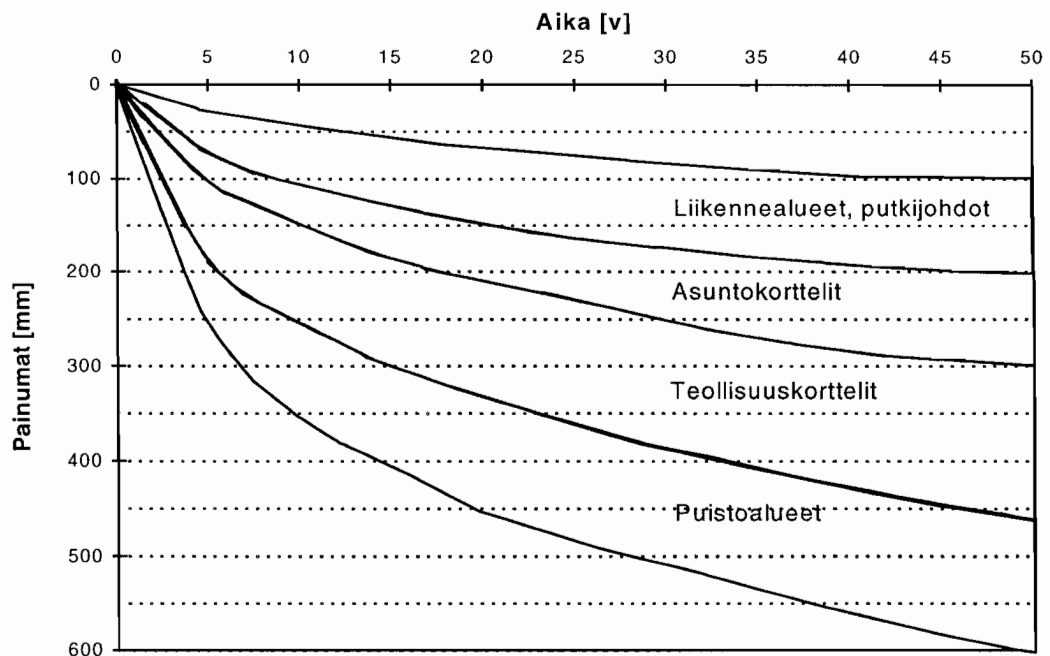
2 ESIRAKENTAMINEN

2.1 KÄSITE, TAVOITE JA TARKOITUS

Esirakentamisella tarkoitetaan rakentamisedellytysten luomista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille, sekä pehmeikköalueen laadun parantamista maarakennustekniikan keinoin **ennen alueen varsinaista rakentamista**. Laajemmassa mielessä esirakentamisen piiriin lasketaan kuuluvaksi myös alueelliset kaivu-, louhinta- ja täyttötöyt. Myös saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan tulkita esirakentamiseksi.

Päätavoitteita ovat vaadittavan alueellisen stabiiliteetin ja kantavuuden varmistaminen sekä painumien vähentäminen hyväksyttävälle tasolle. Esirakentamisen avulla parannetaan samalla alueen rakennettavuutta ja turvataan tietty käytönaikainen geotekninen laatutaso. **Erittäin huonoilla pohjamailla toimenpide on alueen rakentamiskelpoisuuden ehdoton edellytys.** Myös vesialueilla tehtävät pohjanvahvistus ja täyttötöyt lisämaan hankkimiseksi katsotaan kuuluvaksi esirakentamisen piiriin. (Havukainen 1995)

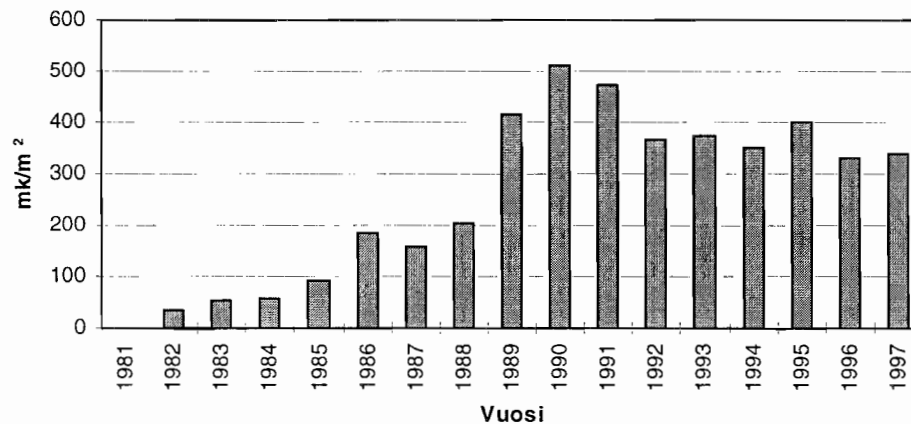
Helsingin kaupungissa on laadittu aluesuunnittelua varten ehdotus eri käyttötarkoituksiin varattavien alueiden painumien raja-arvoiksi, joiden ylittyessä esirakentamistoimenpiteisiin tulisi ryhtyä (kuva 2.1). Raja-arvoja käytetään alueen laatutason varmistamiseksi ja mahdollisen alueellisen pohjanvahvistustarpeen arvioimiseksi. Rakenteen painumien raja-arvot määrätään yksityiskohtaisessa suunnittelussa. Eri käyttötarkoituksiin varattujen alueiden painumien raja-arvot määräytyvät joko alueen rakenteiden rakenteellisista ominaisuuksista tai alueen ulkonäköseikkojen perusteella asetetuista laatuvaatimuksista. (Leiskallio 1993)



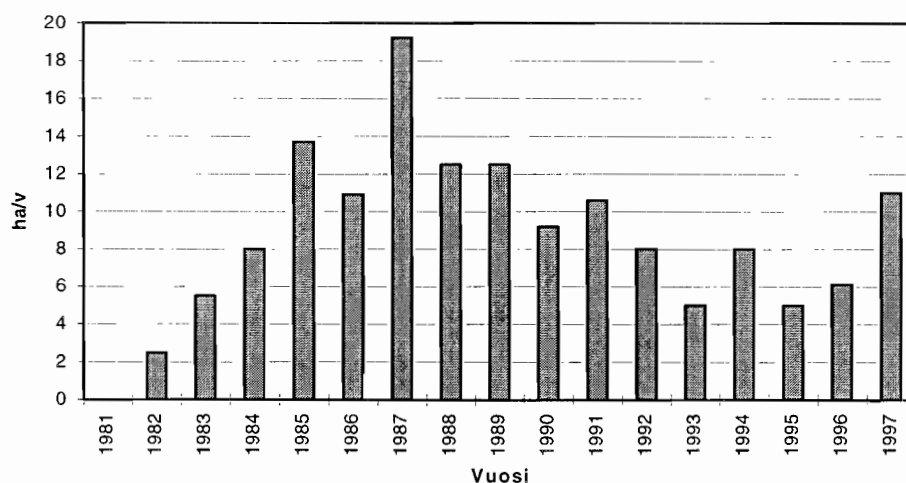
Kuva 2.1: Painumarajat joiden ylittyessä suositellaan esirakentamista. (Geoteknisen osaston suositus 1998)

Helsingissä rakentaminen on 1970-luvulta lähtien kantavapohjaisen rakennusmaan vähenemisen seurauksena suuntautunut pääosin pehmeikköalueille. Perinteistä rakentamistapaa soveltaen on useilla alueilla jouduttu ongelmatilanteisiin jo 5...10 v. kuluessa rakentamisesta. Suurten ja epätasaisten painumien seurauksena viemäreitä, vesijohtoja, kaukolämpöputkia yms. rakenteita on vaurioitunut eikä pintakuivatus toimi odotetulla tavalla.

Esirakentamisen avulla voidaan yllä kuvatut kustannusaikapommit välttää. Esirakentaminen on vakiintunut Helsingin kaupungin rakennustoimintaan 1980-luvun alkupuolella. Toiminta lähti liikkeelle maankäytön tarpeista sekä varoittavien esimerkkien vauhdittamana. Helsingissä on esirakennettu 1980-luvun alusta alkaen vuoteen 1995 mennessä huonopohjaisia maa-alueita noin 150 ha. Keskimääräinen kustannus on ollut 200...300 mk/m² (Havukainen 1995). Kuvissa 2.2 ja 2.3 esitetään esirakentamisen keskimääräisiä kustannuksia (mk/m²) ja toteutunutta esirakentamista (ha/v) Helsingissä vuosina 1981...1997.



Kuva 2.2: Esirakentamisen keskimääräiset kustannukset mk/m² Helsingissä vuosina 1981...1997.



Kuva 2.3: Toteutunut esirakentamisen (ha/v) Helsingissä vuosina 1981...1997.

Esirakentamisella saavutetaan aina laadullista hyötyä, koska sillä **lisätään alueen ympäristöllistä ja toiminnallista laatua**. Lisäksi myös kaupungin rakenteellinen laatu voi parantua, kun sijainniltaan edullinen alue voidaan ottaa rakentamisen piiriin ja käyttöön. (Havukainen 1985)

Esirakentaminen tuo yleensä taloudellista hyötyä kaupungille, koska alueen rakentamisen ansiosta kaupungille tuloa tuottava toiminta lisääntyy. Lisäksi alueen vuosittaiset kunnossapitokustannukset pienenevät. (Havukainen 1985)

Esirakentamisen kustannukset ovat kohdekohtaisesti monesta eri tekijästä riippuvaisia. Tärkeimpiä kustannuksiin vaikuttavia seikkoja ovat mm. pohjasuhteet, massojen järjestely sekä pohjarakennusmenetelmät. Helsingin kaupungin käyttämä rahamäärä esirakentamiseen on ollut 90-luvulla vuositasolla keskimäärin 23,5 Mmk.

Merkittävimpiä esirakennettuja alueita ovat Pikku-Huopalahti, Mellunmäen keskus, Kurkimäki, Pukinmäen kolmio, Torpparinmäki, Munkkivuoren laajennus (Tali) ja Porslahdentien itäpuolinen alue. Suuria vesitäyttöjä ovat mm. Vanhan kaupunginlahden länsiranta, Ruoholahti ja Herttoniemenranta.

Tulevaisuudessa merkittäviä esirakennettavia alueita tulevat olemaan mm. Arabianranta ja Viikin alueet.

2.2 ESIRAKENTAMISTA EDELLYTTÄVÄT ALUEET

Tyypillisimmillään esirakennettava alue on laaja (miehellään vähintään 0,5 ha), jotta toimenpiteet ovat esimerkiksi tonttikohtaisesti erillisinä töinä tehtäviä toimenpiteitä edullisempia. Esirakentamista voidaan soveltaa mm. seuraaville aluetyypeille: (Havukainen 1985)

- pehmeiköt
- ranta-alueet ja matalikot
- mäet, kalliot ja painanteet
- täyttöalueet

Suurin esirakentamistarve kohdistuu geoteknisesti ongelmallisimpina pidettäville pehmeikköalueille, joita ovat savi-, lieju- ja turvealueet.

Ranta-alueet ovat geoteknisessä mielessä myös yleensä pehmeikköjä, joiden esirakentamisessa sovelletaan näille kehitettyjä menetelmiä. Ranta-alueiden ja matalikoiden käyttöönottoaminen edellyttää yleensä myös ruoppaustöitä.

Mäkimuodostumia, kallioita ja painanteita voidaan joutua tasoittamaan alueellisia leikkaus-, louhinta ja täyttötöitä käyttäen. Kallioalueilla louhinnasta vapautuvia kiviaineksia tulisi hyödyntää alueen tonttirakentamisessa.

Ylijäämämassojen täyttöalueita voidaan myös joutua esirakentamaan. Usein tällaiset täytöt on tehty joutoalueina pidetyille pehmeiköille ja epätasaisesti ajetut täyterrokset ovat jatkuvassa painumistilassa, eikä alueen jäljellä olevia painumia voida ilman esirakentamistoimenpiteitä hallita (Havukainen 1995). Mikäli täyttöjä tehdään vesialueille, vaativat ne vesioikeuden luvan.

Yllä olevat soveltamisalueet eivät ole ehdottoman yksiselitteisiä, vaan erilaiset aluetyypit ja niillä sovellettavat menetelmät voivat mennä myös osittain päällekkäin.

Vanhoja teollisuusalueita tai muita vastaavia alueita asuntotuotantoon tai virkistyskäyttöön muutettaessa on huomioitava alueen mahdollinen saastuminen. Näiden alueiden kyseessä ollessa saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan katsoa kuuluvaksi esirakentamisen piiriin.

3 ESIRAKENTAMISEN PROSESSI

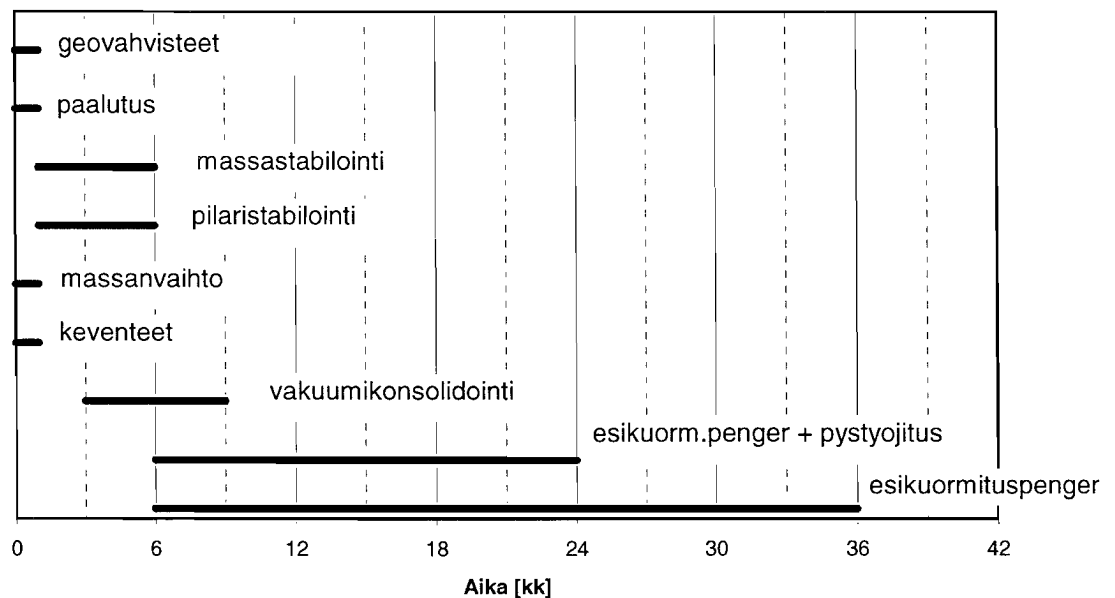
3.1 ESIRAKENTAMISEN SOVELTUVUUS

Esirakentamisen menetelmäkohtainen soveltuvuus tulisi selvittää välittömästi esirakentamistarpeen ilmetessä. Erilaisin pohjatutkimuksin selvitetään alueen maaperän geotekniset ominaisuudet. Näiden tutkimusten perusteella voidaan selvittää ko. alueelle parhaiten soveltuva esirakentamismenetelmä huomioiden alueen tuleva käyttö. Esirakentamismenetelmän valintaan vaikuttaa myös käytävissä oleva aika. Eräät esirakentamismenetelmät vaativat jopa useiden vuosien mittaisen vaikutusajan, ennenkuin alueen varsinainen rakentaminen voidaan aloittaa.

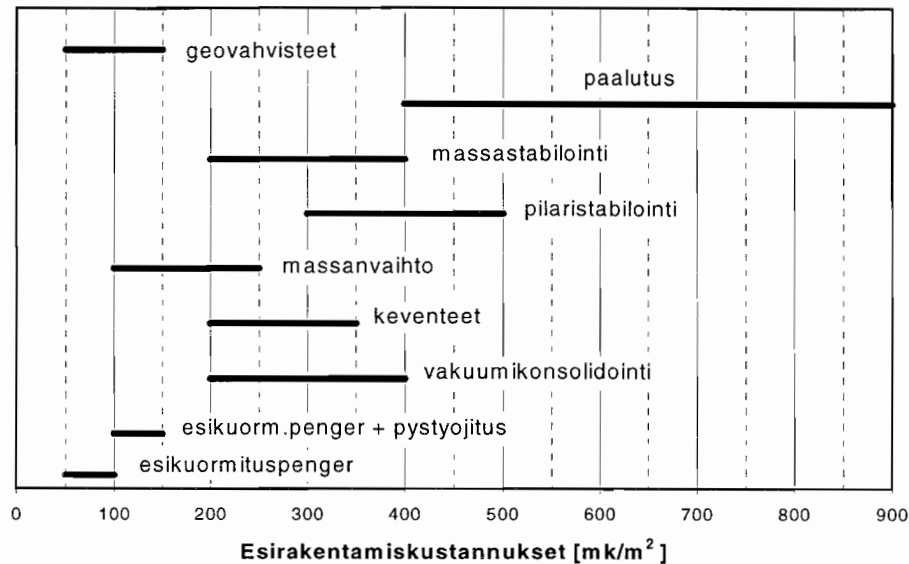
Taulukkoon 3.1 ja kuviin 3.2 sekä 3.3 on kerätty erilaisten esirakentamismenetelmien soveltuvuus erilaisiin pohjaolosuhteisiin, sekä menetelmän vaatima arvioitu aika, ennenkuin varsinainen rakentaminen voidaan aloittaa ja menetelmän arvioitu kustannus (mk/m²).

Taulukko 3.1: Esirakentamismenetelmien käyttöalueet.

	turve	lieju	savi	siltti	täyte
Esikuormituspenger					
Pystyjoitus + esikuor.penger					
Vakuumikonsolidaatio					
Keventeet					
Massanvaihto					
Pilaristabilointi					
Massastabilointi					
Paalutus					
Geovahvisteet					



Kuva 3.2: Esirakentamismenetelmien vaatima tyypillinen aika ennenkuin varsinainen rakentaminen voidaan aloittaa.



Kuva 3.3: Tyypilliset yksikkökustannukset esirakentamismenetelmillä.

Myös mahdollisten saastuneiden maa-alueiden kartoittaminen on ensiarvoisen tärkeää ja jo esirakentamisvaiheessa täytyy olla tieto maa-alueen mahdollisesta saastumisesta. Saastuneisuus vaikuttaa maamassojen käsiteltävyyteen ja mahdolliseen jatkokäyttöön. Täten saastuneisuus vaikuttaa myös käytettävään esirakentamismenetelmään, mikäli alueelle on mahdollista rakentaa (kts. luku 12).

3.2 ESIRAKENTAMISEN AJOITUS

Esirakentaminen tulisi sen toteutuksen vaatiman ajan vuoksi **aloittaa mahdollisimman aikaisin**. Mitä aikaisemmin esirakentaminen voidaan aloittaa, sitä laajempi keinovalikoima on käytettävissä. Aikaisin vaihe, jolloin esirakentaminen voidaan aloittaa on asemakaavaaluonnosvaihe. Tällöin voi kuitenkin olla alueesta riippuen riskejä sille, että asemakaavaaluonnos ja vastaava esirakentamissuunnitelma tulee muuttumaan. Vähemmän riskejä sisältävä tapa on se, että esirakentaminen aloitetaan hyväksytyn asemakaavaehdotuksen pohjalta (Havukainen 1985).

Suosittelavin tapa riskien pienentämisen kannalta on kuitenkin se, että esirakentaminen aloitetaan valtuuston hyväksymän asemakaavaan sisältyvän esirakentamissuunnitelman pohjalta kaupunginhallituksen annettua siihen luvan.

3.3 LIITTYMINEN KAAVOITUKSEEN

Esirakentamisen valmistelu ja sen suunnittelu sekä tähän liittyvien pohjatutkimustietojen hankinta kulkee rinnan maankäytön suunnittelun kanssa. Kaava-suunnitteluun liittyvät esirakentamissuunnitelmat laatii joko kiinteistöviraston geotekninen osasto tai geoteknisen alan konsulttitoimisto Ksv:n toimeksiantosta. Esirakentamisen toteutusvaiheeseen liittyvät suunnitelmat laatii vastavasti geotekninen osasto tai konsulttitoimisto HKR:n katuosaston toimesta.

Yleiskaavavaiheessa rajataan rakentamiseen kelpaamattomat alueet pois ja saadaan alustava kuva maaperän kustannusvaikutuksista. Tässä vaiheessa muodostuu karkea kuva myös pehmeikköalueiden sijainnista sekä täyttö-, louhintaja leikkaustarpeista.

Osayleiskaavavaiheessa tehdään esirakentamistarpeen arviointi alustavien korkeustasosuunnitelmien ja maaperätietojen pohjalta. Esirakentamisen ohjelmointi käynnistyy tässä vaiheessa kuntasuunnitelmatasolla (5 v.). Tässä vaiheessa ohjelmoidaan mahdollisuuksien mukaan myös pitkäaikaista esirakentamista vaativat kohteet budjettitasolla (1 v.). Se käsittää osayleiskaavavaiheessa olevien alueiden esirakentamistarpeen arvioinnin koko kaupungin alueen osalta sekä alustavan arvion esirakentamiskustannuksista ja aikataulusta. Osayleiskaavavaiheeseen liittyy myös alustavien massalaskelmien teko sekä ylijäämämassojen minimointi ja sijoituspaikkojen etsiminen.

Asemakaavaluonnoksen laatimisvaiheessa määritetään tulevat maanpinnan korkeustasot sillä tarkkuudella, että voidaan tehdä alueen painumalaskelmat. Tässä yhteydessä tarkastellaan alueellisen kuivatuksen ja viemäröinnin toteutettavuutta ja mahdollisten pumppaamojen tarvetta ja määritetään lopullinen esirakentamistarve. Mikäli päädytään esirakentamiseen, laaditaan esirakentamisen luonnossuunnitelma, joka sisältää esirakennettavien alueiden rajauksen, esirakentamisvaihtoehtojen teknistaloudellisen vertailun sekä esityksen toteutuskelpoisimmasta esirakentamistavasta.

Kuvassa 3.4 on esitetty esirakentamisen suunnittelun liittyminen kaavoitukseen. Kaavio kuvaa esirakentamisen ”oikeaoppista” etenemistapaa. Toisinaan edullisimman esirakentamisen menetelmän soveltaminen edellyttää useiden vuosien aikaa. Tällöin esirakentaminen tulisi käynnistää jopa ”pienellä riskillä” ensimmäisen asemakaavaluonnosten valmistuessa. Hitaat menetelmät (esikuormitus ja esikuormitus + liuskapystyöjat) edellyttävät yleensä yhtenäisen pehmeikköalueen esirakentamista kokonaisuudessaan, joten kaavan sisällä tapahtuvat rakennusmassojen ja väylien muutokset eivät ole esteenä esirakentamisen varhaiselle käynnistämiseksi.



Kuva 3.4: Esirakentamisen suunnittelun liittyminen kaavoitukseen.

3.4

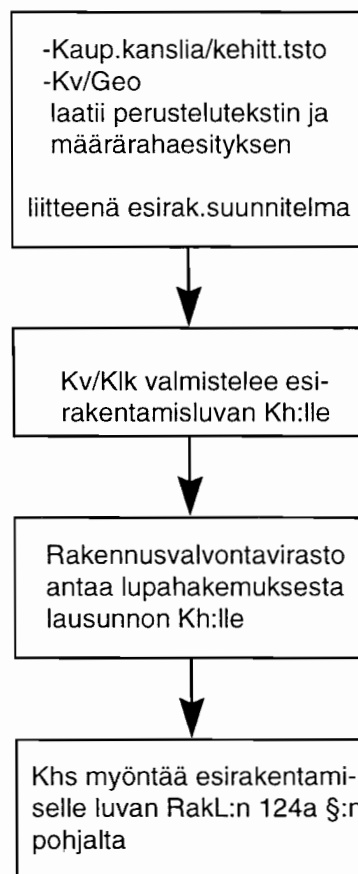
LUPAKÄSITTELYN JA TOTEUTUKSEN KULKU

Esirakentamisluvan hakemiseen tarvittavat asiakirjat: (Havukainen 1985)

1. Lupahakemus, joka sisältää mm. aluekuvauksen ja alueen maanomistuso-
lot.
2. Toimenpidesuunnitelma, joka käsittää mm. yleisselostuksen esirakentamis-
töistä sekä suunnitelman tarvittavien maa-ainesten ottamisesta ja vapautu-
vien ylijäämämaiden sijoittamisesta tarvittavine karttapiirustuksineen.
3. Maanomistajien suostumus.

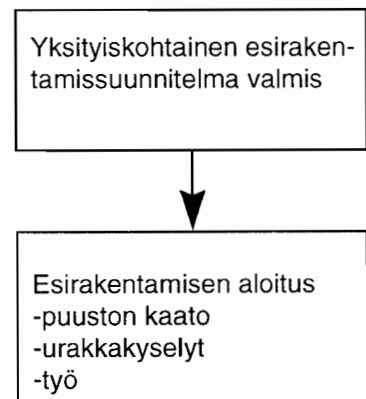
Alla olevassa kaaviossa on kuvattu lupakäsittelyn ja toteutuksen kulkua.

LUPAKÄSITTELY *



* Pienissä kohteissa voidaan luvan hakeminen hoitaa myös virastokirjeellä. Tällöin kiinteistövirasto toimittaa lupahakemuksen kirjeellä rakennusvirastoon, joka antaa lupahakemuksen lausunnon Kh:lle esirakentamisluvan myöntämistä varten.

TOTEUTUS **



** Yksityiskohtainen esirakentamissuunnitelma valmistellaan joko Kslk:n hyväksymän asemakaavaluonnoksen tai ehdotuksen tai valtuuston hyväksymän asemakaavan pohjalta.

Kuva 3.5: Lupakäsittelyn ja toteutuksen kulku. (Havukainen 1985)

3.5 LIITTYMINEN RAKENTAMISEEN

3.5.1 Pääperiaatteet

Tonttien esirakentaminen voidaan tehdä kaupungin toimesta alueellisena tai tontin rakennuttajan toimesta tonttikohtaisesti. Molemmissa tapauksissa esirakentamispäätös tai -velvoite tulee kaupungin taholta. Rahoitus tulee alueellisessa vaihtoehdossa kaupungilta ja tonttikohtaisessa toimenpiteessä joko kaupungilta tai rakennuttajalta. Kaupunki voi periä esirakentamiseen sijoittamansa rahat takaisin (kts. luku 3.7)

Katujen, muiden yleisten liikennealueiden ja kunnallistekniikan osalta esirakentaminen tehdään aina kaupungin toimesta ja kaupungin rahoituksella.

Esirakentamisesta päätettäessä on asemakaavan laatiminen vielä yleensä kesken ja esirakentamisen luonnossuunnittelu loppuvaiheessa. Esirakentamisluvan ja määrärahapäätöksen lisäksi esirakentamisen käynnistämisen edellytyksenä on kaupunginhallituksen hyväksymä esirakentamisen urakasuunnitelma (kts. luku 3.4). Esirakentamisen avulla saavutettavan lopputuloksen ja kustannussäästöjen kannalta on oleellisen tärkeää, että esirakentamisen suunnitteluun ja toteutuksen varataan riittävästi aikaa. Esirakentaminen pyritään pääsääntöisesti, ellei erityistä estettä ole, aloittamaan kun kaupunginvaltuusto on hyväksynyt alueen asemakaavan.

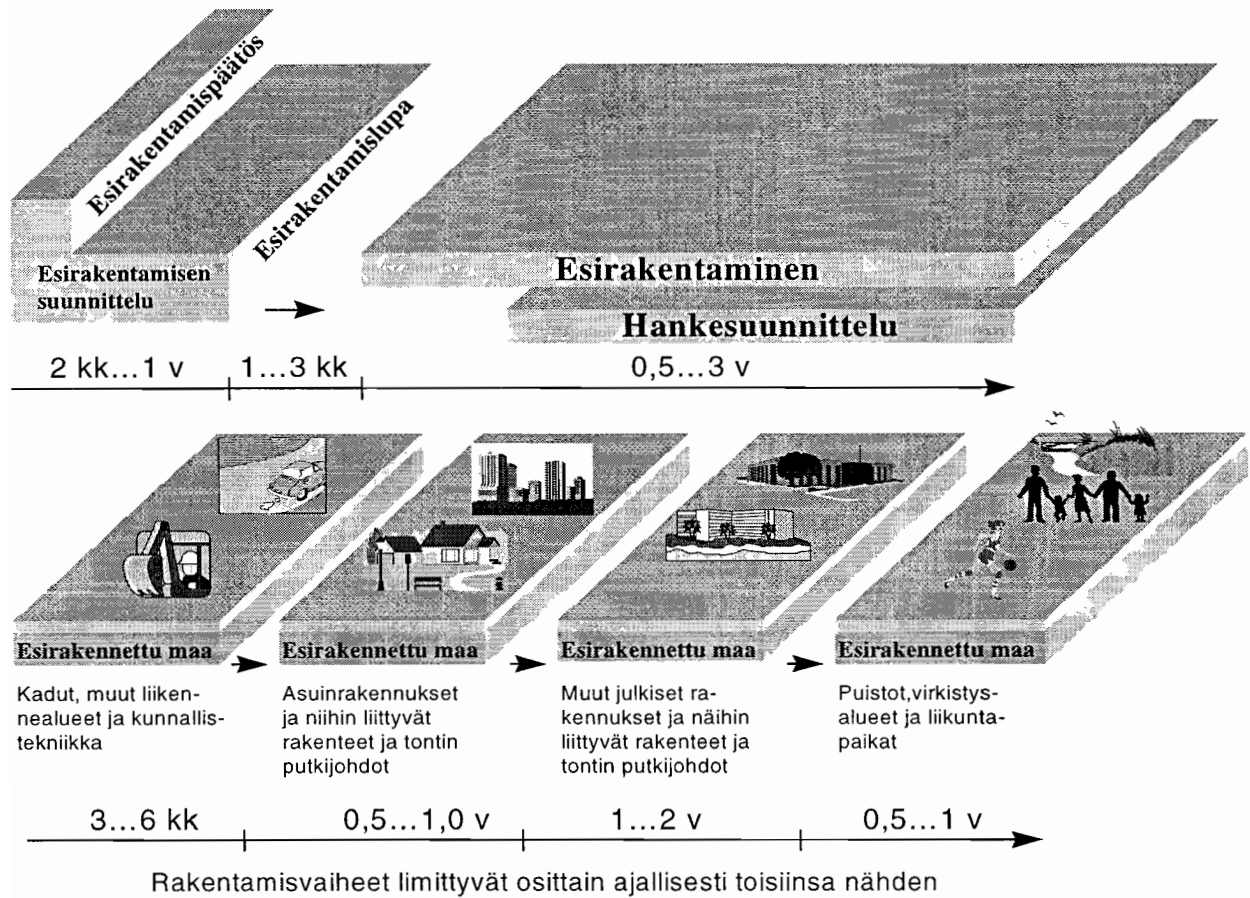
Alueellisessa esirakentamisessa luvan ja määrärahan myöntämisen jälkeen HKR/katuosasto toimii esirakentamisen rakennuttajana ja käynnistää työt. Koko kaava-alueen pehmeikkö katuineen, tontteineen ja tarvittaessa myös mahdollisine viheralueineen esirakennetaan samalla kertaa. Kaupunginkanslia perii yleisten alueiden kustannusosuuden HKR:lta takaisin, mikäli anottu määräraha on kattanut myös nämä alueet.

3.5.2 Ajoittuminen ja pääsidosryhmät

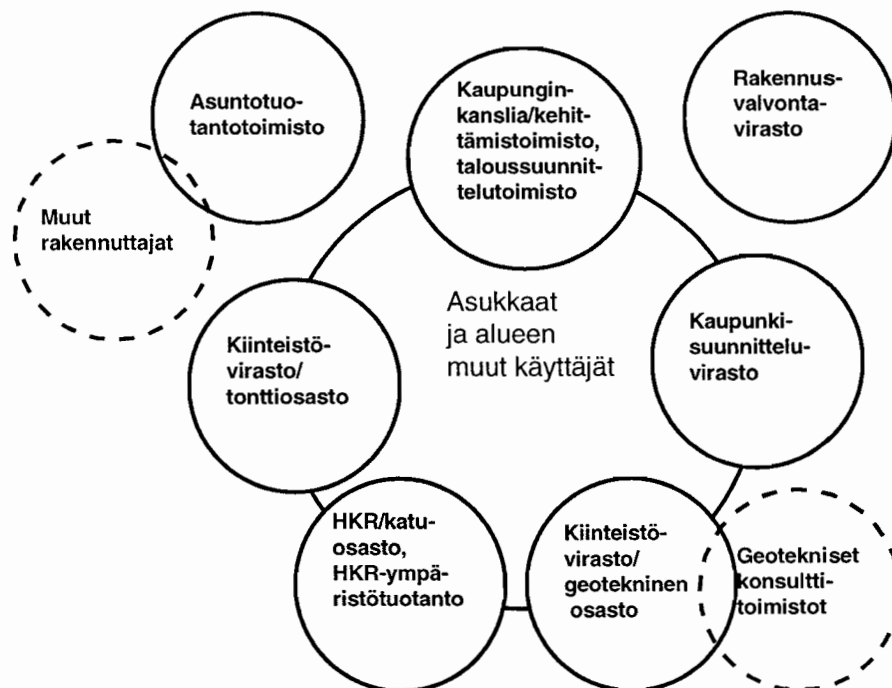
Esirakentaminen ajoittuu varsinaiseen rakentamiseen siten, että samanaikaisesti esirakentamisen kanssa on käynnissä tonttien, katujen sekä muiden yleisten alueiden hankesuunnittelu. Esirakentamisen päätyttyä voi varsinainen rakentaminen alkaa.

Toteutusjärjestyksen sanelevat käytännön vaatimukset: Katujen ja kunnallistekniikan tulee toimia ainakin keskeisiltä osiltaan ennen tonttien rakentamisen käynnistämistä. Julkinen rakentaminen seuraa asuntojen rakentamista yleensä pienellä viiveellä. Puistojen, virkistysalueiden ja liikuntapaikkojen (urheilu- ja palloilukentät) rakentaminen jää yleensä viimeiseksi tai ajoittuu samoihin aikoihin muun julkisen rakentamisen kanssa. Kuvassa 3.6 on esitetty esirakentamisen ajoittumisen yleiset päälinjat.

Esirakentamisen pääsidosryhmät muodostavat toisiinsa kytketyn ketjun, jonka keskipisteessä on alueen asukkaat ja muut käyttäjät. Kuvassa 3.7 on esitetty eri sidosryhmien kytkeytyminen toisiinsa.



Kuva 3.6: Esirakentamisen liittyminen rakentamiseen.



Kuva 3.7: Esirakentamisen pääsidosryhmät.

3.6

MASSATALOUS

Rakennustoiminnassa vapautuvien massojen määrä vaihtelee vuosittain Helsingissä 1 miljoonan irtom³:n molemmin puolin. Tästä Helsingin kaupungin ylläpitämiselle maksullisille täyttöalueille sijoitettujen maa- ja kiviainemassojen määrä on nykyisellään noin 0,5 miljoonaa irtom³/v. HKR:n katuosasto vastaa täyttöalueiden hoidosta, vastaanottotoiminnan taloudesta sekä sijoituspaikkojen osoittamisesta käyttäjille. Vastaanotto on ollut maksullista 15.9.1980 lähtien. Katuosasto on tilannut organisaatiomuutoksen jälkeen vastaanottotoiminnan HKR-Ympäristötuotannolta.

Ylijäämämaiden sijoittamisen ensisijainen tavoite on täyttöalueille sijoittamisen sijasta kuitenkin hyötykäyttökohteisiin sijoittaminen. Toiminnalla onkin Helsingissä pitkät perinteet. Massoja on sijoitettu mm. puisto- ja rantarakentamiseen. Uusi jätelaki, valtioneuvoston päätökset kaatopaikoista ja rakennusjätteistä velvoittavat vähentämään jätteiden ja läjitysalueille sijoitettavien ylijäämämaiden määrää entisestään ja lisäämään vastaavasti hyötykäyttöä.

Rakennusviraston katuosaston, kiinteistöviraston geoteknisen osaston ja kaupunkisuunnitteluviraston kesken on laadittu 1997 raportti ”Rakennustoiminnan ylijäämämassat - hyödynnettävä luonnonvara”. Raportti sisältää selvityksen ylijäämämassojen erilaisista hyötykäyttömahdollisuuksista ja ylijäämämassoilla toteutetuista kohteista sekä aloitteen ylijäämämassakysymyksen hoitamiseksi ylikunnallisena.

Esirakentamistoiminnan keskeisen kustannustekijän muodostaa massojen ohjaus. Maamassat voidaan jaotella ns. geoteknisesti hyvälaatuisiin kitkamaalajeihin (hiekkä, sora, louhe ja murskeet) sekä geoteknisesti heikkolaatuisiin massoihin (savi, siltti, moreeni, humus ja turve). Edellisiin voidaan lukea kuuluvaksi myös kivihiilivoimalaitosten sivutuotteet (lentotuhka, pohjatuhka ja rikinpoistotuote) sekä kiviainesperäiset puhtaat rakennusjätteet (betoni, tiilet yms.). Nämä kuuluvat kuitenkin jätelain piiriin (lohkarekooltaan alle 150 mm betonimurskaa lukuunottamatta) ja vaativat ympäristöluvan.

Kaikille massatyypeillä on esirakentamistoiminnassa sellaisenaan tai jatkokesiteltynä käyttöä oikein sijoitettuna. Stabiloimalla voidaan parantaa huonosti kantavien maamassojen lujuutta oleellisesti. Humusmaat voidaan sijoittaa viherkentämiseen.

Seuraavassa on esitetty merkittävimpiä kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, jotka liittyvät pehmeikköjen esirakentamisen massatalouteen:

Kaivumassat

Suuria määriä kaivumassoja käsitellään alueellisissa massanvaihtotöissä ja kunnallistekniikan kaivantojen tekemisen yhteydessä.

Kaivumassat tulee pyrkiä hyödyntämään rakennusalueen läheisyydessä (tarvittaessa stabiloituna). Epäedullisin (valitettavasti vielä yleinen) vaihtoehto on ajaa massat maksulliselle vastaanottoalueelle. Geoteknisen osaston tiedotteessa 61/1993 ”Ylijäämäsavien massastabilointi” on laskettu kustannukset eräässä kohteessa, jossa kaivusavet ajetaan kaupungin vastaanottoalueelle

sekä tapauksessa, jossa samat kaivusavet stabiloidaan ja käytetään syntypaikansa läheisyydessä.

Putkijohtojen ja katualueiden pilaristabilointi saattaa olla edullista ulottaa kaivannon yläpintaan saakka, koska näin stabiloitu kaivusavi on otettavissa hyötykäyttöön lähialueilla esim. maisemointitäydyksissä tai viheralueiden korotustäydyksissä. Tapaa on kokeiltu mm. HKR/Ympäristötuotannon läntisessä katuyksikössä.

Kaivumassojen määrät, sijoittaminen ja mahdollinen hyötykäyttö kustannusvaikutuksineen tulee esittää esirakentamissuunnitelmassa. Ne tulee ilmetä myös esirakentamisen lupa- ja määräraha-anomuksessa.

Täyttömassat

Täyttö- ja ylipengermassojen etsiminen tulee sisällyttää esirakentamisen suunnitteluun. Massayhteisön osapuolia ovat suunnittelijan lisäksi kaupunginkansli- an kehittämistoimisto, kaupunkisuunnitteluviraston kaavoitusosaston teknista- loudellinen toimisto, HKR/katuosasto ja HKR/ympäristötuotanto. Massojen oh- jauksen suunnittelun yhteydessä osapuolten kesken käydään läpi esirakenta- misurakan kanssa samanaikaisesti käynnistyvät rakennuskohteet, joista va- pautuvat massat soveltuvat ajettavaksi esirakentamiskohteeseen. Tämän vuoksi suunnittelijan tulee selvittää esirakentamiseen tarvittavat massamäärät sekä niiden laatu. Edullisimmillaan täyttömassojen kustannukset muodostuvat vain kuljetuskustannuksista eli Helsingin alueella niiden kustannus on tällöin matkasta riippuen noin 10...30 mk/m³itr. Ostomassoja käytettäessä kustannus voi helposti tuplaantua.

Ylipengermassojen massatalouteen tulee mahdollisuuksien mukaan kiinnittää myös penkereen poistamisvaiheessa. Vaiheittain esirakentaminen mahdollistaa vapautuvien massojen edullisen käytön viereisellä, myöhemmin toteutettavalla alueella. On myös otettava huomioon, että mikäli ylipengermassoina käytetään runsaasti vettä pidättäviä ylijäämämaita, kuten savea, moreenia tai silttiä, ei penkereen poistamista pidä ajoittaa pakkaskauteen. Läpiroutaantuneen penke- reen poistaminen voi tulla yhtä kalliiksi kuin itse esirakentaminen.

Ylipengermassoina on joskus edullista käyttää myös välivarastoitavia kiviainek- sia, kuten louhetta, mursketta, sepeliä tms.

Täyttömassojen määrät, laatu ja ottopaikat sekä täytön kustannukset tulee esittää esirakennussuunnitelmassa. Ne tulee ilmetä myös esirakentamisen lu- pahakemuksessa ja määräraha-anomuksessa.

3.7 RAHOITUS

3.7.1. Esirakentamisen rahoitus

Esirakentaminen edellyttää huomattavaa investointia ennen varsinaista raken- tamista. Investoinnille tulee olla perustelut ja rahoitus kunnossa. Perusteluna voi olla uuden rakennusmaan tekeminen tai laadun oleellinen parantaminen. Helsingissä esirakentamistoiminta on vakiintunut käytännöksi ja vuosittain toi- mintaan on sijoitettu kaupungin talousarviosta 20...25 Mmk. Ko. rahasummalla on esirakennettu maata vuosina 7...10 ha/v.

Esirakentamisen rahoitusta mietittäessä täytyy rahaa varata myös rakenteiden työnaikaiseen seurantaan sekä jälkiseurantaan. Työn aikainen seuranta esim. esikuormituspengertä käytettäessä edellyttää jopa vuosien seurantaa ja vaatii täten kustannuksia. Jälkiseurannan avulla saadaan arvokasta tietoa rakenteiden käyttäytymisestä esirakennetun pohjamaan varassa.

Esirakentamiskohteet ja määrärahat esitetään Helsingin kaupungin talousarviossa (1 v.) sekä taloussuunnitelmassa (5 v.). Kaupunki vastaa esirakennettavien alueiden suunnittelusta, rahoituksen hoidosta, rakentamisen laatuvaatimuksista ja alueen käyttöönoton ajankohdasta. Näin kaupungin hallintokunnilla on mahdollisuus vaikuttaa valittavaan esirakentamisen aikatauluun ja massojen käytön ohjaamiseen eli sitä kautta esirakentamismenetelmään ja -kustannuksiin.

Esirakentamisen ohjelmointi tehdään vuosittain ja sen valmistelee kiinteistöviraston geotekninen osasto ja tonttiosasto yhdessä kaupunginkanslian kehittämistoimiston ja taloussuunnittelutoimiston sekä kaupunkisuunnitteluviraston kaavoitusosaston kanssa. Jotta esirakentamisen rahantarve voitaisiin arvioida riittävän tarkasti, tulee alueesta olla käytettävissä asemakaavaluonnos tai -ehdotus ja vastaavaa tarkkuutta oleva esirakentamisen luonnossuunnitelma.

Esirakentamisen rahoituksessa voidaan noudattaa kahta periaatetta:

1. Kaupunki rahoittaa esirakentamistoimenpiteet, mikäli esirakentaminen on alueen kaavoittamisen ja käyttöönoton ehdoton edellytys. Kaavoituksen ansiosta esirakentamisen kustannukset peittyvät maan arvonnoususta koituvalla hyödyllä sekä yhdyskuntatoiminnan lisääntymisellä. Tämänäyttypisiä alueita ovat heikkopohjaiset jättömaat ja rantojen vesialueet.
2. Kaupunki rahoittaa kokonaisuudessa esirakentamisen tai jakaa kustannukset alueen käyttäjien kanssa, mikäli esirakentamisella parannetaan oleellisesti pohjamaan laatua. Tällöin hyöty jakautuu selkeästi kaupungin ja alueen käyttäjien kesken. Sijoitettu esirakentamisinvestointi saadaan käytön aikana takaisin säästyvinä korjaus- ja kunnossapitokustannuksina.

3.7.2 Takaisinperintä

Esirakentaminen nostaa tontin käypää arvoa. Kaupunki voi periä esirakentamiskustannukset kokonaan tai osittain käyttäjiltä joko kertakorvauksena, vuokrina tai lainarahoitusta käyttäen. Esirakentamiskustannukset voidaan sisällyttää tontin hintaan, jolloin esirakentamiseen käytetty raha palautuu tontin myynnin tai vuokrauksen kautta kaupungille. Pääsääntöisesti ehdotetaan, ettei esirakentamiskustannuksia peritä jälkikäteen erillisenä esirakentamismaksuna.

3.7.3 Saastuneiden maiden saneerauksen rahoitus

Viime vuosina on rakennusmaan lisäämiseksi ryhdytty kaavoittamaan vanhoja teollisuus- ja varastoalueita, jotka sisältävät runsaasti orgaanisia ja epäorgaanisia epäpuhtauksia. Näiden alueiden puhdistamiseen on Helsinki varannut viime vuosina noin 10 Mmk/v. Näiden alueiden toimenpiteet ohjelmoidaan samanaikaisesti esirakennettavien alueiden kanssa ja niiden rahoitusmenettely kulkee rinnan esirakennustoiminnan rahoitusmenettelyn kanssa.

4 ESIRAKENTAMISMENETELMÄT

4.1 ESIKUORMITTAMINEN

4.1.1 Esikuormituspenger

Esikuormittaminen on maan esikonsolidoimismenetelmistä yksinkertaisin. Konsolidoitavaa maapohjaa kuormitetaan rajoitetun ajan kuormalla, joka on suurempi kuin lopullisista rakenteista maapohjaan aiheutuva kuorma. Kuormituksessa ei saa kuitenkaan ylittää maan kantokykyä. Ylikuormitus aiheuttaa maapohjaan konsolidaatiopainuman, joka pitkän ajan kuluessa olisi suurempi kuin lopullisten rakenteiden aiheuttama konsolidaatiopainuma. (Rantamäki, Tamminen 1979)

Useimmiten ylikuormituspenger toteutetaan konsolidoitavalle maapohjalle tehtävänä tilapäisenä maapenkereenä tai kiviainesten väliaikaisena varastointina. Menetelmä soveltuu yleensä vain alle 6 m paksuille savikoille, koska tätä paksuutta savikot vaatisivat liian pitkän ajan. Ylikuormituksen tulisi vaikuttaa maapohjan vedenläpäisevyydestä ja konsolidoitavan kerroksen paksuudesta riippuen noin 0,5...3 vuotta.

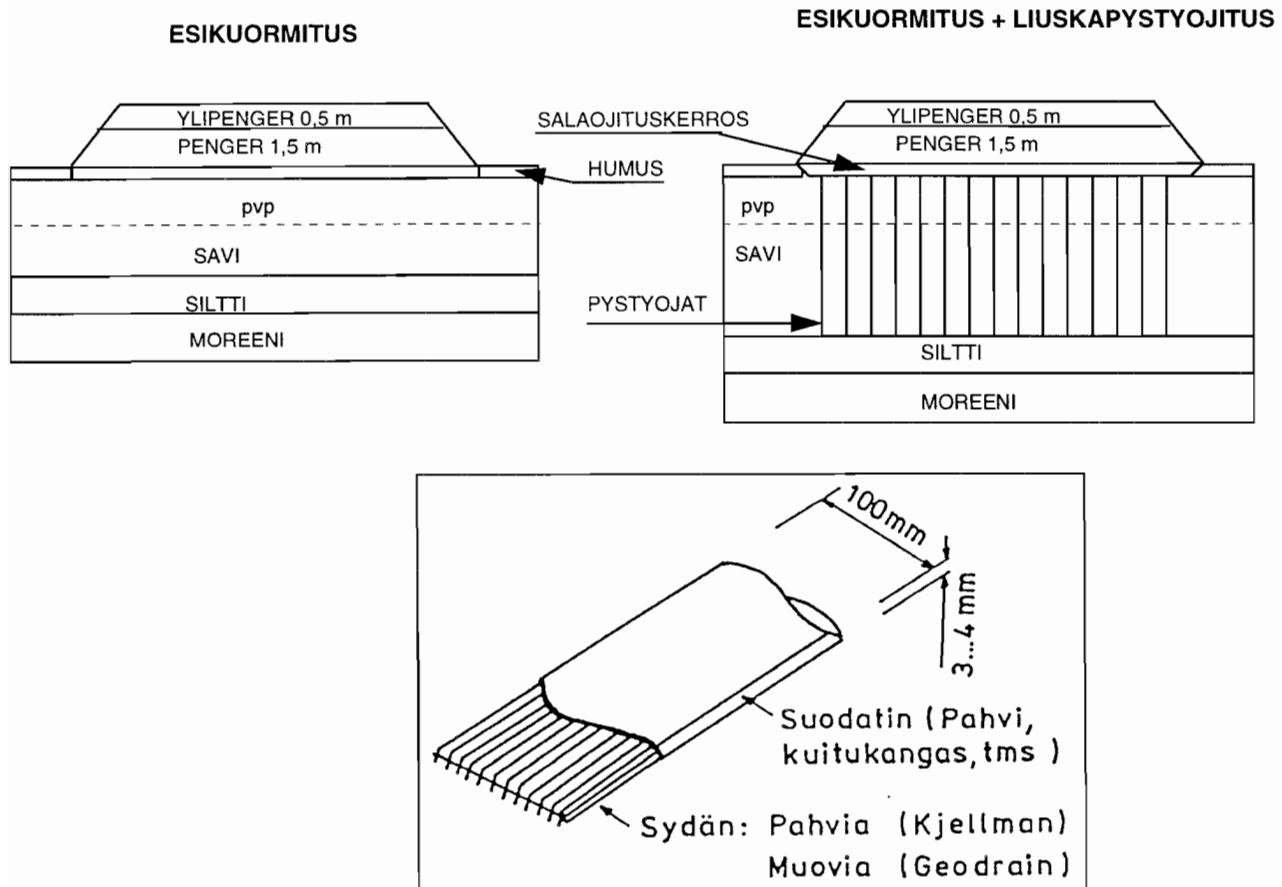
Menetelmän kustannukset riippuvat oleellisesti saatavilla olevista penkereeseen soveltuvista massoista. Kuvassa 4.1 esitetään esikuormittaminen ylipenkereen avulla

4.1.2 Pystyjoitus ja esikuormituspenger

Pystyjoituksella tarkoitetaan vahvistettavaan maakerrokseen tehtävää profiilitaan sylinterinmuotoista hiekkapystyjoitusta tai nauhamaista liuskaojitusta (kuva 4.1). Pystyjoitus on käyttökelpoinen erityisen huonosti vettä läpäisevän maapohjan esim. paksun savikerroksen esikonsolidoimisessa, koska menetelmällä lyhennetään huokosveden poistumismatkaa ja aikaa savessa. (Tielaitos 42/1994)

Pystyjoituksen ohella käytettynä ylikuormitus lisää konsolidoitumisnopeutta huomattavasti. Ylikuormitusta käyttämällä voidaan melko lyhyessä ajassa saavuttaa painuma, joka ylikuormituksen poistamisen jälkeen ei enää lisäännä. Pystyjoitusta käyttämällä pyritään yleensä siihen, että konsolidaatiopainuminen saataisiin tapahtumaan 80...85 %:sti 1...2 vuoden aikana. (Rantamäki, Tamminen 1979)

Kuvassa 4.1 esitetään liuskaojituksen + esikuormituspenkereen periaate.



Kuva 4.1: Esikuormituksen ja esikuormituksen + pystyjoituksen periaate. Nauhapystyjojan profiili (Tielaitos 42/1994).

4.1.3 Vakuumikonsolidaatio

Vakuumikonsolidaation toimintaperiaate perustuu pystyjojen ja alipaineen yhteisvaikutukseen. Ensimmäisenä idean alipaineen ja nauhapystyjojen hyödyntämisestä esitti ruotsalainen Kjellman jo 1950-luvulla. Suomessa vakuumikonsolidaatiota kokeiltiin ensimmäisen kerran Helsingin Itäkeskuksen koekentällä talvella 1974 - 1975. NykYTEknikalla on päästy alkuaikojen kokeiluja parempiin tuloksiin, johtuen mm. tiiviiden geokalvojen käyttöönotosta. Helsingin kaupunki on tehnyt 1990-luvulla kaksi onnistunutta vakuumikonsolidointiprojektia Torpparinmäessä ja Arabianrannassa. (Puumalainen, Havukainen 1996)

Vakuumikonsolidaatiossa maasta imetään vettä ja ilmaa, jolloin se tiivistyy ja lujittuu. Menetelmän avulla maata kuormitetaan alipaineella, joka vastaa jopa viidestä kuuteen metrin korkuista ylipengertä. Menetelmä muistuttaa ylipenkeren ja pystyjojen avulla tapahtuvaa pohjanvahvistamista. Menetelmien välillä on kuitenkin huomattavia eroja: (Puumalainen, Havukainen 1996)

- ylipengertä käytettäessä mekaaninen kuormitus kasvattaa maan kokonaisjännitystä. Penkeren alla oleva maa painuu, mutta samalla se myös pullistuu sivusuunnassa ulospäin synnyttäen vaakasiirtymiä.
- vakuumikonsolidaatiossa huokosvedenpaine pienenee pystyjoitetulla alueella alipaineen vaikutuksesta. Tehokas jännitys

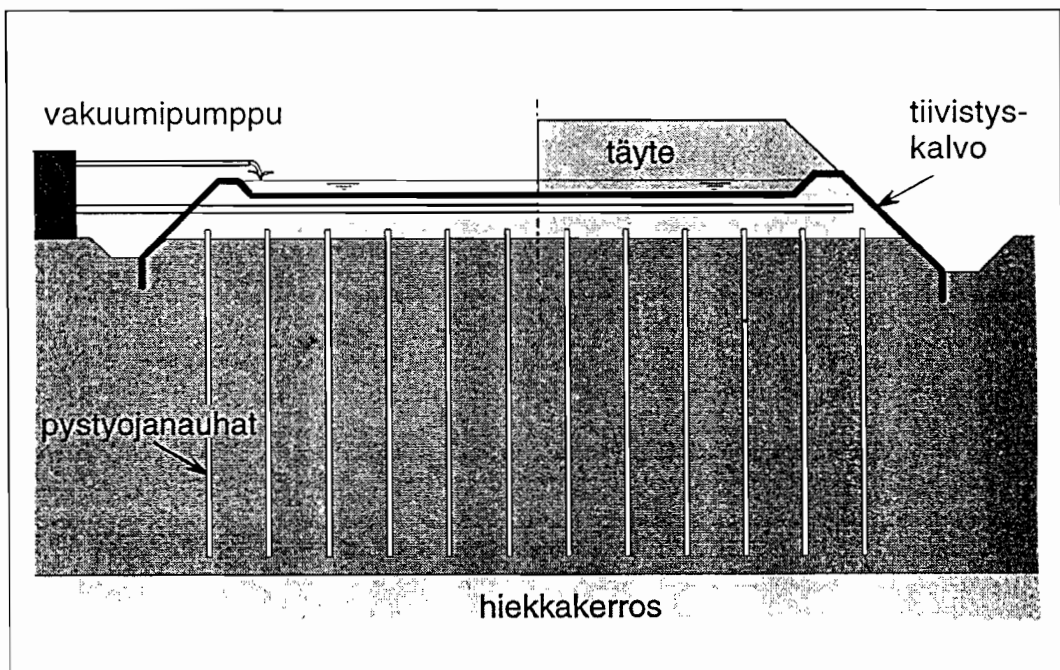
kasvaa, mutta kokonaisjännitys ei muutu. Pehmeä maa puristuu kasaan ja sen lujuus kasvaa. Pystyöjitetun alueen reunoilla maa imeytyy ojia kohti sen sijaan että se liikkuisi niistä pois-päin. Sivusiirtymät ovat pieniä.

Merkittävin vakuumikonsolidoinnilla saavutetuista eduista on lyhyt konsolidointiaika. Pelkkää ylipengertä käytettäessä tarvittava käsittely vie vuosia. Mikäli käytetään ylipenkereen ja pystyojien yhdistelmää käsittelyaika lyhenee, mutta aikaa kuluu silti noin yhdestä kahteen vuoteen. Vakuumikonsolidaatiolla keskimääräinen konsolidaatioaika on yleensä 3...6 kuukautta. (Puumalainen, Havukainen 1996)

Vakuumikonsolidaation käyttö on kannattavinta seuraavissa tapauksissa:

- kohteet, joissa sekä primaari- että sekundaaripainuma voivat aiheuttaa ongelmia
- kohteet, joissa käytettävissä oleva rakennusaika on lyhyt ja joissa pohjamaan vakavuus on rajoittava tekijä
- muta- ja liejualtaat, joissa lujuuden parantaminen edellyttää liejun vesipitoisuuden pienentämistä
- säiliöpohjien esikuormitus

Kuvassa 4.2 esitetään vakuumikonsolidaation toimintaperiaate.



Kuva 4.2: Vakuumikonsolidaation toimintaperiaate. (Puumalainen, Havukainen 1996)

4.2 KEVENTÄMINEN

4.2.1 Johdanto

Keventeiden avulla pienennetään maapohjaan kohdistuvaa kuormitusta. Kuormitusta keventämällä voidaan parantaa maapohjan stabiiliteettia ja pienentää painumia. Kevenneet toimivat yleensä myös lämmöneristeinä. Tämä mahdollistaa usein rakennekerrosten ohentamisen routimisen puolesta.

4.2.2 Kevytsora

Kevytsoraa valmistetaan savesta polttamalla savi +1100...+1200 °C asteen lämpötilassa pitkässä pyörivässä sylinterimäisessä polttouunissa.

Kevytsora levitetään tavanomaisten kiviainesten tapaan telapuskukoneilla, jotka pystyvät liikkumaan kevytsoran päällä ja suorittavat samalla esitiivistämisen. Pienemmissä hankalammin luoksepäästävässä kohteissa on mahdollista käyttää myös puhalluskevytsoraa. Puhalluskevytsora on tasarakeista, joka toimitetaan valmistajan toimesta paikalleen puhallettuna (Tielaitos 28/1997). Kuvassa 4.3 esitetään kevytsoralla kevennetty penger.

Kevytsoralla tehty kevennys sopii käytettäväksi erityisesti silloin, kun alueella on vanhaa täyttöä. Muita tavallisimpia käyttökohteita ovat:

- siirtymärakenteet
- vanhojen ojien tms. ylitykset
- olemassaolevien penkereiden leventäminen
- sivukaltevassa maastossa sijaitsevat penkereet
- pysäköinti- ja piha-alueet
- syvät pehmeiköt

Kevenneiksi tarkoitettujen irtokevytsorien rakeisuudet ja kuivatilavuuspainot ovat:

- KS432, rakeisuus 4...32, $\gamma_d = 3,2 \text{ kN/m}^3$
- KS032, rakeisuus 0...32, $\gamma_d = 3,5 \text{ kN/m}^3$
- KS820, rakeisuus 8...20, $\gamma_d = 2,5...3,0 \text{ kN/m}^3$

Kevytsoraa voidaan myös sitoa, jolloin puhutaan kevytsorabetonista tai bitumoidusta kevytsorasta sideaineesta riippuen.

Sivulla 50 esitetään taulukko, jossa esitetään eri kevennysmateriaalien ohje- mitoitussarvoja.

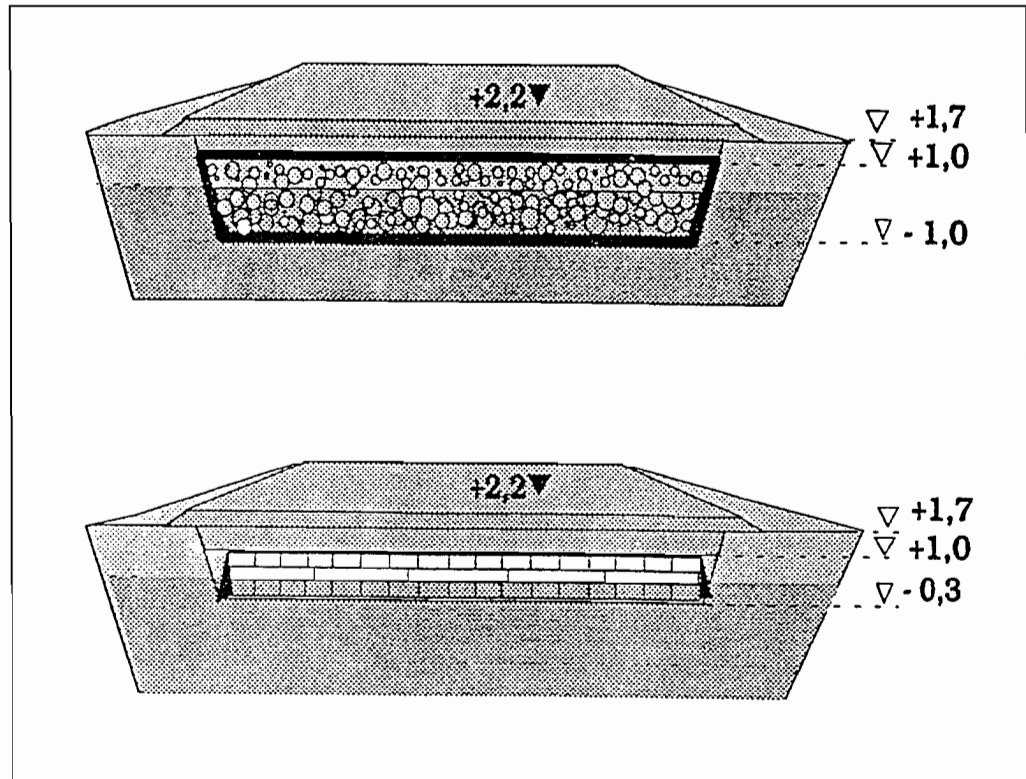
4.2.3 EPS

EPS eli expanded polystyren on nimensä mukaisesti paisutettua polystyreenimuovia. Kevennyksissä käytettävien kappaleiden koko on tavallisesti 0,5 * 1,0 (1,2) * 3,0 (4,0) m³ ja mitoitustilavuuspaino noin 1 kN/m³. Kappaleet tilataan tehtaalta määräkokoisina. Erillisiä kappaleita on mahdollista työstää myös työkohteessa materiaalin pehmeiden vuoksi.

Kevytsoraan verrattuna keventäminen solumuovilla on ollut hieman kalliimpaa. Kuitenkin viime vuosina hinnat ovat lähentyneet toisiaan ja vertailu onkin syytä tehdä tapauskohtaisesti (kts. luku 6.1.5).

EPS-kappaleiden ohella keventämiseen voidaan käyttää myös EPS-kevytbetonia.

Kuvassa 4.3 esitetään EPS-keventeellä kevennetty penger.



Kuva 4.3: Kevytsoralla ja EPS-keventeellä kevennetty penger. (Havukainen 1993)

4.2.4 Muut keventeet (tuhka, renkaat)

Teollisesti valmistettujen keventeiden rinnalle on viime vuosina tullut myös muita keventeitä, joista valtaosan muodostavat teollisuuden sivutuotteet. Asiaan vaikuttavat ympäristönäkökohdat, joiden vuoksi materiaalien uusiokäyttö on viime vuosina noussut voimakkaasti esille.

Tuhka

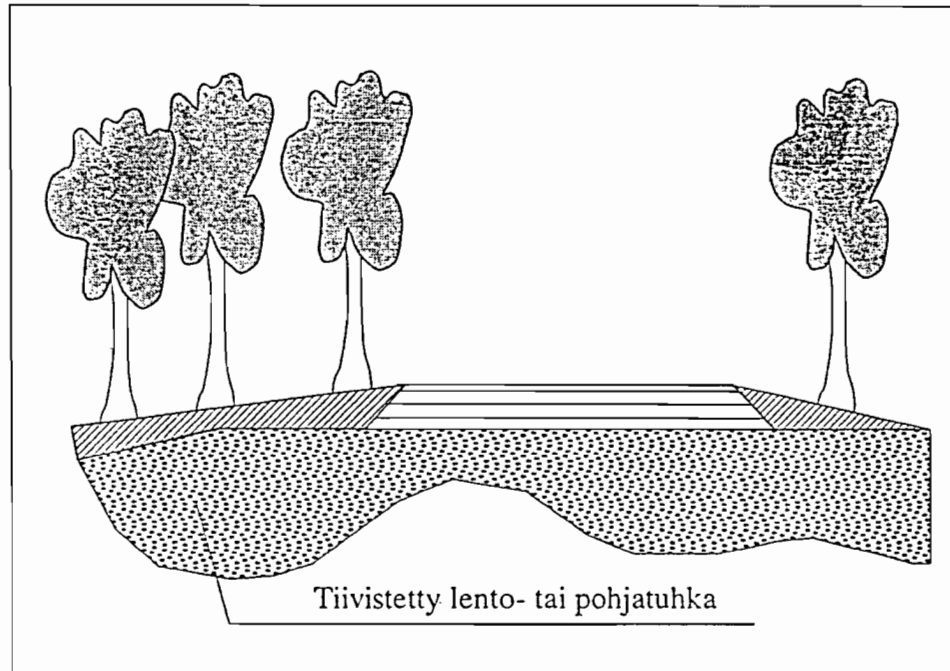
Kivihiilivoimalaitoksen tuhkaa (lento- ja pohjatuhka) on käytetty keventämistarkoituksiin niiden halvan hinnan vuoksi, mutta pengertäytteeksi kuivalle maalle soveltuvat kaikki tuhkatyytit. Erityisesti tuhkan kevennysetu tulee kyseeseen paksuissa, yli 1 m täytöissä.

- lentotuhka otetaan talteen voimalaitosten savukaasuista. Tuhkarakeet ovat lasimaisia onttoja tai kiinteitä palloja, osittain särmikkäitä rakeita. Raekoko vastaa luonnon maalajeista lähinnä silttiä. Materiaalin kuivatilavuuspaino on 10 kN/m^3 ja tiivistettynä $12...16 \text{ kN/m}^3$. Lentotuhkasta on kehitetty myös kevytsoran tapaista, huomattavasti alkuperäistä lentotuhkaa kevyempää materiaalia. Myös Suomessa on vastaavanlaisen materiaalin kehittäely käynnissä.
- rikinpoistotuote syntyy kivihiilen poltossa syntyvistä savukaasuista, joista poistetaan rikkiä neljällä eri menetelmällä: märkämenetelmällä, puolikuivamenetelmällä, lifac-menetelmällä ja leijukerrosmenetelmällä. Lopputuote on kuivaa, juoksevaa materiaalia, jonka keskiraekoko on $0-10 \mu\text{m}$. Raekoko vastaa lähinnä silttiä. (Talla 1997)
- pohjatuhka otetaan talteen pölypolttolaitoksessa palotilan pohjalta. Tuhkarakeet ovat särmikkäitä ja pinnaltaan huokoisia. Raekoko vastaa luonnon maalajeista lähinnä keskikarkeaa tai karkeaa hiekkaa. (Havukainen 1982)

Rikinpoistotuotetta ei voida käyttää sellaisenaan maarakentamiseen. Pääkaupunkiseudun voimaloissa syntyy puolikuivamenetelmän rikinpoistotuotetta ja lentotuhkaa yhteensä n. 250 000 tonnia vuodessa. Rikinpoistotuotetta lentotuhkaan sekoitettaessa parannetaan tuotteen lujuusominaisuuksia (Mäkelä, Wahlström et al 1995). Lentotuhkaan lisättävä rikinpoistotuotteen osuus vaikuttaa seoksen ympäristökelpoisuuteen.

Tuhkien lujuusominaisuudet ovat yleensä riittävät tavanomaisiin maarakenteisiin ja erityisesti lujittuvien lentotuhkien ja lentotuhkien + rikinpoistotuotteiden leikkauslujuus ja moduuli kasvavat iän myötä, joka lisää niiden käyttöä maarakentamisessa.

Tuhkan käyttö rakenteissa vaatii kuitenkin ympäristöluvan. Tämä on otettava huomioon jo hyvissä ajoin, mikäli tuhkaa aiotaan käyttää kohteessa. Kuvassa 4.4 esitetään tuhalla toteutettua täyttöä.



Kuva 4.4: Täyttötöiden tekeminen käyttäen tiivistettyä lento- tai pohjatuhkaa. (Viatek-yhtiöt Oy 1995)

Renkaat

Käytöstä poistetut autonrenkaat ovat muuttuneet teollisuusmaissa merkittäväksi ympäristöongelmaksi. Suomessa renkaat tulee kerätä hyötykäyttöä varten, eikä niitä saa sijoittaa kaatopaikalle. Renkaiden myyjät ottavat vastaan jäterenkaita ja toimittavat ne keräyspisteisiin, joista ne kuljetetaan eri puolella Suomea sijaitseviin alueterminalleihin. Alueterminaalit toimittavat seuraavia tuotteita: RR0, RR1 ja RR2

- RR0 tarkoittaa kokonaisia renkaita
- RR1 tarkoittaa rouhetta, joka on pitkää ja kapeaa ja jonka nimellimitat ovat $10 * 32 \text{ cm}^2$
- RR2 tarkoittaa rouhetta, jonka nimellimitat ovat $5 * 5 \text{ cm}^2$

Autonrenkaista valmistettavaa rengasrouhetta on käytetty etenkin Yhdysvalloissa tiepenkereiden keventämiseen huonosti kantavilla maapohjilla. Tyypillisiin maarakennusmateriaaleihin verrattuna rengasrouheella on pieni tilavuuspaino ($300...800 \text{ kg/m}^3$). Materiaali ei absorboi vettä itseensä ja sen vedenläpäisevyysarvo on suurempi kuin soralla.

Suomessa rengasrouhetta on käytetty mm. Siilinjärvelle vt 5:n varrelle rakennetussa meluvallissa sekä Uudenmaan tiepiirin koerakennuskohteessa paikallistiellä 11863 välillä Ilola - Sannäs. **Renkaiden käyttö maarakenteissa vaatii ympäristöluvan.** (Repo 1997)

4.3 MASSANVAIHTO

4.3.1 Massanvaihto kaivamalla

Massanvaihdossa kaivamalla pehmeät maakerrokset (turve, savi, lieju) kaivetaan pois kovaan pohjaan tai määräsyvyyteen saakka ja korvataan täyttömassoilla. Menetelmän käyttöä rajoittavat lähinnä kaivannon vakavuuteen liittyvät tekijät. Yli 4 m kaivussyvyudet ovat harvinaisia. (Tielaitos 23/1993)

Menetelmä soveltuu hyvin lyhyehköille ja matalille pehmeiköille sekä matalille soille, joissa kova tai riittävän kantava pohja on välittömästi turpeen alla. Massanvaihtoa kaivamalla voidaan käyttää herkästi vaurioituvien rakenteiden läheisyydessä sekä paalutettujen alueiden päissä, joissa paalupituudet ovat lyhyet. (Tielaitos 2/1993)

Osittaisessa massanvaihdossa täytyy huomioida, että massanvaihdon seurauksena alapuolisen maan kuormitus kasvaa ja maapohja tulee painumaan. Täten osittainen massanvaihto voidaan yhdistää muiden esirakentamismenetelmien kanssa. Tällöin täyttömateriaalin valinnassa täytyy huomioida mahdolliset jatkotoimenpiteet. Mikäli massanvaihdon läpi joudutaan paaluttamaan, täytyy täyttömateriaali valita paalutus huomioiden.

Helsingissä suuria massanvaihtokohteita ovat olleet mm. Mellunmäen keskuk- sen sekä Kivikon alueen turvepehmeiköt.

4.3.2 Massanvaihto pengertämällä

Massanvaihdossa pengertämällä pehmeikön syvyys on yleensä niin suuri, ettei massanvaihto kaivamalla onnistu. Korkeana päätypenkereenä etenevä täyttö syrjäyttää ja puristaa pehmeät maakerrokset penkereen sivulle ja eteen. Pohjamaata kaivetaan sekä ennen pengerrystä, että yleensä myös pengerryksen aikana. Pengertämisen aikana kaivetaan vastapainona toimivia eteen ja sivuille nousseita massoja. Penkereen painumista voidaan vaikeissa tapauksissa helpottaa räjäytyksin.

Toteutettujen pohjaantäyttöjen syvyydet ovat olleet 4...13 m, syvin jopa 18 m. Jotta syrjäyttäminen onnistuisi, pohjamaan on oltava riittävän pehmeää savea tai liejua. (Tielaitos 23/1993)

4.4 STABILOINTI

4.4.1 Pilaristabilointi

Pilaristabilointimenetelmällä tarkoitetaan pehmeiden maakerrosten pohjanvahvistusmenetelmää, jossa maahan painetun sekoittimen avulla sekoitetaan sideaine niin, että maahan muodostuu lujittuneita sylinterimäisiä pilareita (STO-91). Runsas humuspitoisuus tai saven voimakas rikkipitoisuus voivat estää maan lujittumisen.

Sideaineena käytetään Suomessa pääsääntöisesti kalkkia ja sementtiä, joita voidaan käyttää yksinään tai yhdessä. Näiden sideaineiden lisäksi on kokeiltu erilaisten teollisuuden sivutuotteiden käyttöä sideaineena toisaalta vähentä-

mään kustannuksia ja toisaalta lisäämään lujuutta. Helsingin kaupungilla ko-keiluja on toistaiseksi tehty laboratoriossa ja maastossa koepilareissa. Ratkaisematta on vielä monia asioita kuten esim. saavutetun lujuuden pysyvyys ja sivutuotesideaineiden vaikutus pilarien homogeenisuuteen.

Suomalaisissa syvästabilointilaitteissa sideaine syötetään maahan yleensä jauhemaisena ilmanpaineen avulla, joskin myös Japanissa yleistä märkämenetelmää on viimeaikoina kokeiltu.

Pilarikoot vaihtelevat yleensä $\varnothing = 500\ldots 800$ mm, joista yleisin on $\varnothing = 600$ mm. Suomessa nykyisin käytössä olevilla laitteilla päästään noin 15...25 m syvyyteen. Stabilointimäärä on ollut viime vuosina voimakkaassa kasvussa.

Myös Helsingissä pilaristabilointi on vakiintunut erityisesti katujen ja kunnallistekniikan pohjanvahvistusmenetelmänä, mutta sitä on käytetty runsaasti myös tonttialueilla. Kuvassa 4.5 esitetään syvästabiloinnin periaatteellinen tekotapa.

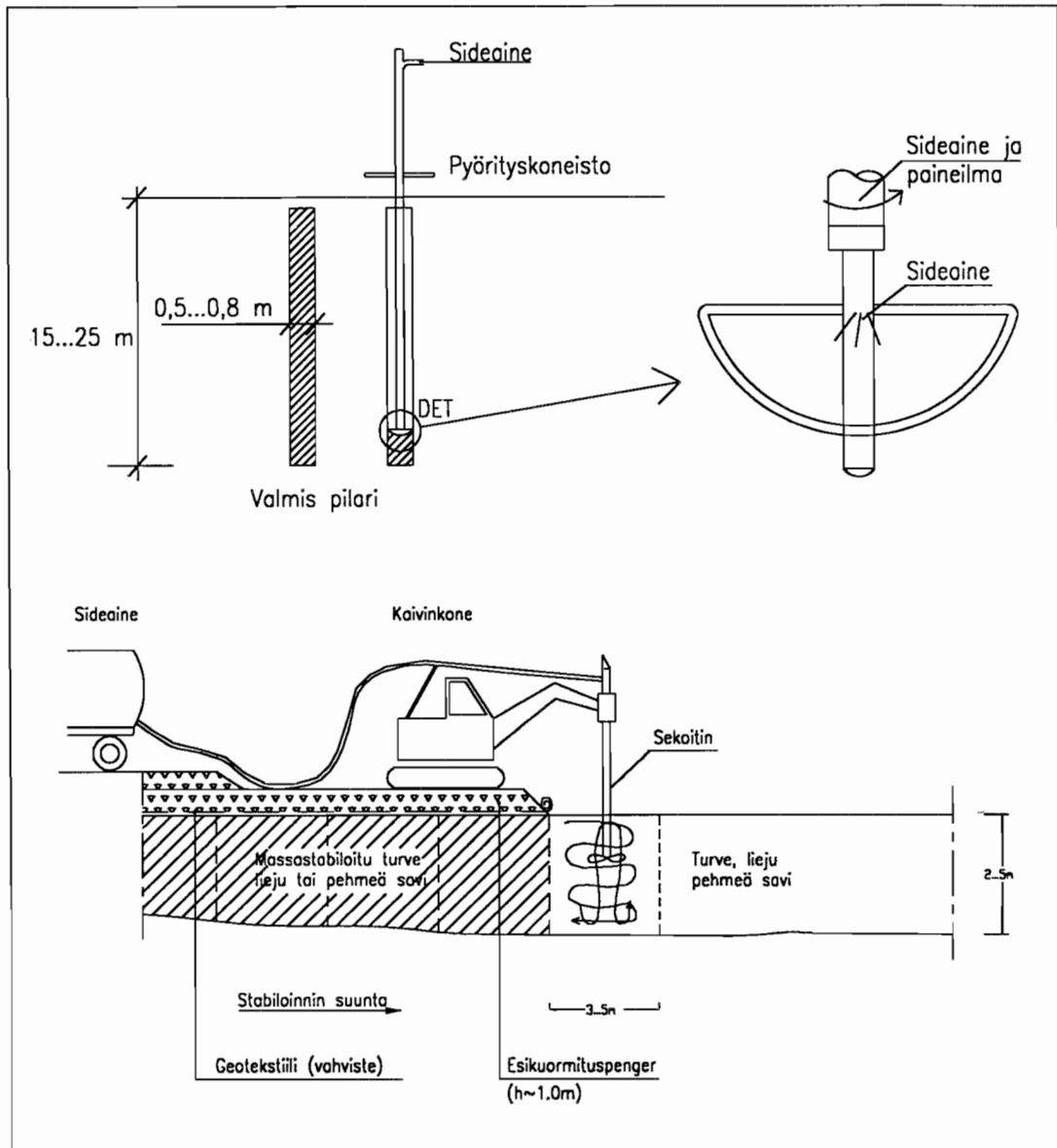
4.4.2 Massastabilointi

Massastabiloinnilla tarkoitetaan maakerrosten muokkaamista siten, että sideaine sekoitetaan stabiloitavaan maamassaan ja lopputuloksena syntyy sideaineen ja maamassan muodostama homogeeninen seos. Massastabiloinnissa on sivutuotepohjaisilla sideaineella tärkeä merkitys, kun stabiloidaan elope-
räistä pohjamaata. Usein massastabiloidut kohteet ovat turve tai liejukerroksia, joiden alapuolinen osa syvästabiloidaan

Massastabilointi suoritetaan esim. kaivinkoneeseen asennetulla sekoituslaitteistolla kohteissa, jossa stabilointi korvaa massanvaihdon. Tällöin päästään noin 5 m syvyyteen. Mikäli stabiloidaan ns. ylijäämäsavea, voidaan käyttää esim. seulamurskainta. (Rekonen, Halkola 1994)

Massastabilointi kilpailee matalilla pehmeiköillä massanvaihdon kanssa varsin-kin silloin, kun korvaavia maa-aineksia on vaikea saada. Helsingin kaupungilla on tutkittu 90-luvulla ylijäämäsavien massastabilointia. Tutkimusten tarkoituk-
sena on ollut selvittää ylijäämäsavien ominaisuuksien parantamista siten, että läjitysalueilla tarvittaisiin vähemmän rakentamiseen kelpaavia materiaaleja. Li-
säksi tavoitteena on sijoittaa massastabiloitu savi lähelle kaivukohdetta esim. maisemointi tai melupenkereisiin ja jopa katurakenteisiin. (Karlstedt, Halkola 1993; Rekonen, Halkola 1994)

Massastabiloinnin periaatteellinen tekotapa esitetään kuvassa 4.5.



Kuva 4.5: Stabiloinnin periaatekuvat. Yläkuvassa pilaristabilointi ja alakuvassa paikalla tehtävä massastabilointi.

4.4.3 Maan jäädytys

Maan jäädytys on termistä stabilointia, jolla alkujaan vetelän tai juoksevan maan puristuslujuus saadaan kasvamaan jopa $3...10 \text{ MN/m}^2$:iin.

Jäädytystä varten maahan upotetaan $\varnothing = 100...200 \text{ mm}$ putkia, joihin asennetaan jäädytysnesteen kiertoputket. Jäädytysnesteenä käytetään $-15...-25 \text{ }^\circ\text{C}$ jäädytettyä kalsium- tai magnesiumkloridia tai nestemäistä tyyppiä. Maa jäätyy putkien ympärillä lieriömäisesti ja tavoitteena on, että maahan muodostuu yhtenäinen jäätynyt vyöhyke. Maan jäädytyksestä seuraa maan routimisilmiöitä, joiden vaikutusta voidaan vähentää nopealla alkujäädytyksellä. (Rantamäki, Tammirinne 1979)

Jäädytys tulee kysymykseen vain suurten rakennushankkeiden yhteydessä. Suomessa jäädytystä on käytetty mm. Helsingin metrotunnelin rakentamisessa ja ns. Kluuvin ruhjevyöhykkeen alueella (Rantamäki, Tammirinne 1979). Näiden lisäksi Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto on tutkinut jäädytysmenetelmän käyttöä Kylänvanhimmantien alikulkukäytävän rakentamisessa (Vähäaho 1987) sekä tiepenkereiden pohjien ja vastaavien lujittamisessa ns. luonnollisesta routimisesta aiheutuvaa sulamiskonsolidaatiota hyödyntämällä (Vähäaho, Ryhänen 1989).

4.5 PAALUTTAMINEN

4.5.1 Pengerpaalutus

Pengerpaalutus on yli 50 vuotta vanha pehmeiköille rakennettavien penkereiden perustamismenetelmä. Paaluhatut otettiin käyttöön 1960-luvun alussa Ruotsissa ja pian sen jälkeen myös Suomessa.

Pengerpaalutuksen yleisimmät käyttökohteet teiden uudisrakentamisessa ovat seuraavat:

- pehmeiköille rakennettavien penkereiden pohjanvahvistus
- siltojen tulopenkereiden pohjanvahvistus
- paalutettujen maatukien ja rakenteiden suojapaalutus
- painumattomien rakenteiden siirtymäpaalutus
- sillan etuluiskan ja keilan pohjanvahvistus

Pengerpaalutuksen valinta tehdään teknisin, taloudellisin ja ympäristöllisin perustein. Tavallisimmat paalukoot ovat 250 * 250 mm² ja 300 * 300 mm². Hoi-kempaa paalua käytetään hattupaalutuksessa ja isompaa paalukokoa pengerlaatoilla. (Tielaitos 21/1993)

Pengerpaalutusta on sovellettu Helsingissä mm. Pikku-Huopalahdessa.

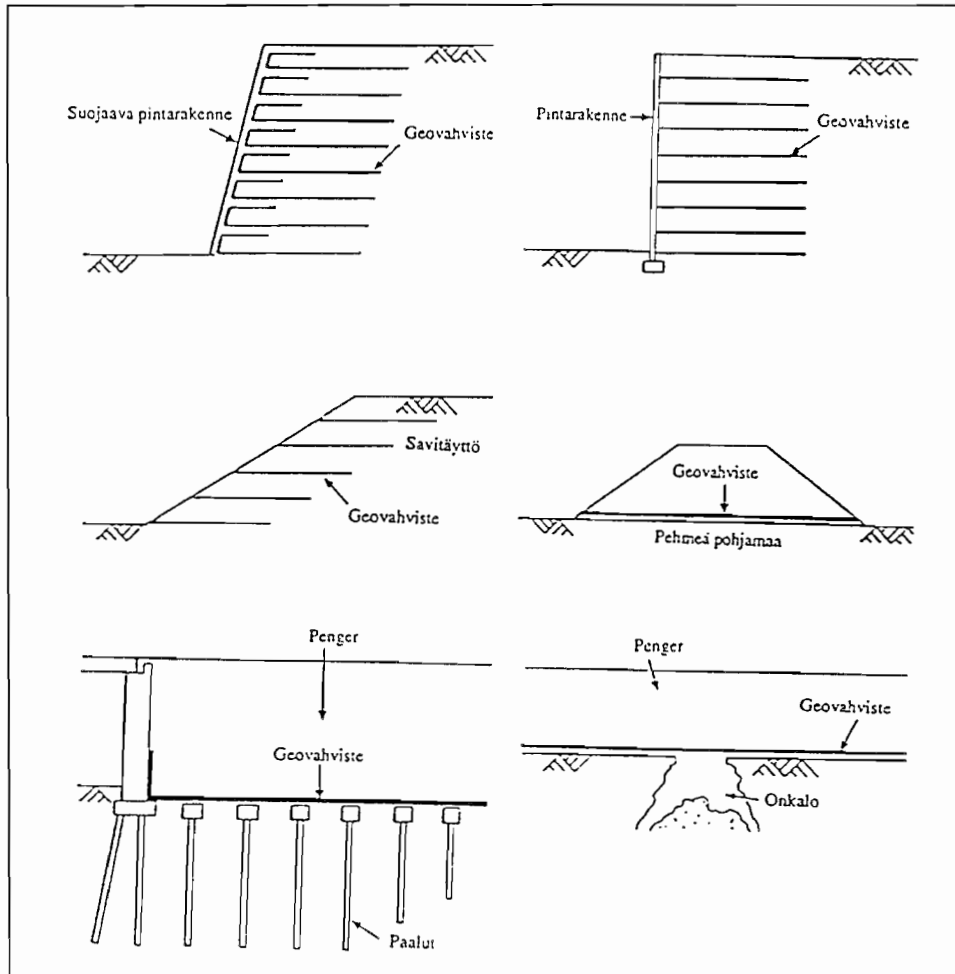
4.6 GEOVAHVISTEET

Synteettisillä geovahvisteilla tarkoitetaan synteettisistä polymeereistä jatkojalostamalla valmistettuja kudoksia, verkkoja ja liuskoja. Geovahvisteverkkoja ja -kankaita on käytetty Suomessa 1980-luvun alusta lähtien. (Tanska, Slunga et al 1995)

Geovahvisteet voidaan jaotella karkeasti kolmi-, kaksi- ja yksiulotteisiin vahvisteisiin. Kolmiulotteisia ovat erilaiset valmiit geosellivahvisteet. Tyypillisiä kaksiulotteisia vahvisteita ovat kudokset ja verkot. Yksiulotteisia vahvisteita ovat vetoelementteinä toimivat nauhat ja liuskat.

Vahvistamalla maa synteettisellä geovahvisteella voidaan kasvattaa maan kantavuutta ja parantaa rakenteen lujuutta. Vahviste ottaa vastaan rakenteessa syntyviä jännityksiä, tasoittaa niitä ja siirtää ne laajemmalle alueelle. Synteettisten geovahvisteiden pääkäyttökohteet voidaan jaotella tienrakentamiseen, vesistörakentamiseen, ympäristörakentamiseen ja rantarakentamiseen.

Geovahvisteita on käytetty Helsingissä mm. Vanhankaupungin länsirannan täytöissä (Leppänen 1989). Geovahvistettujen rakenteiden yleisimmät käyttökohteet ovat esitetty kuvassa 4.6.



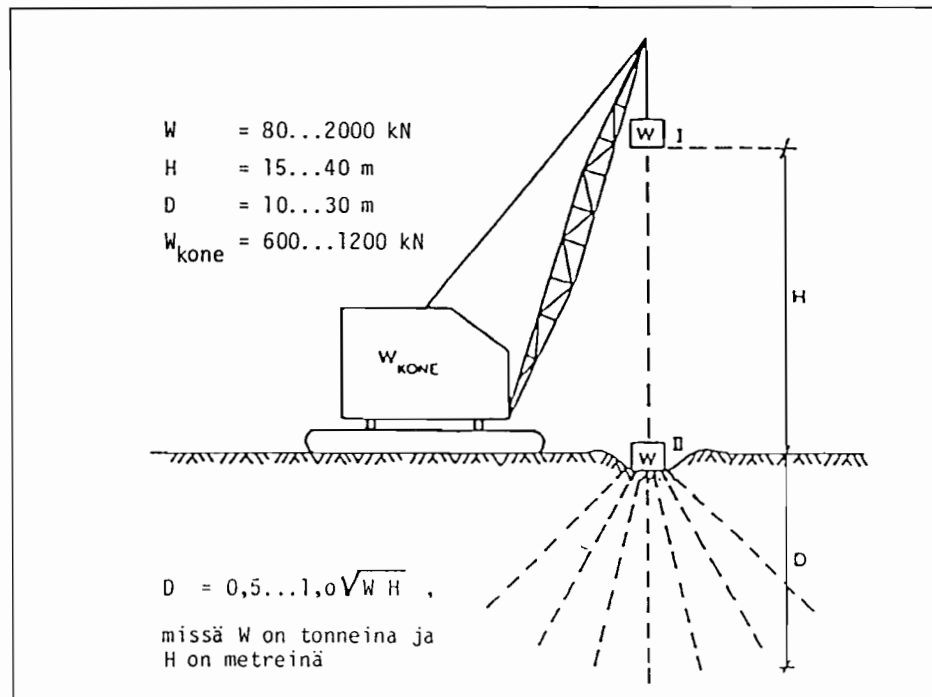
Kuva 4.6: Vahvistettuja maarakenteita. (Tanska, Slunga et al 1995)

4.7 MUUT MENETELMÄT

4.7.1 Pudotustiivistys

Pudotustiivistys on mekaanisen iskuenergian käyttöön perustuva syvätiivistysmenetelmä. Tässä menetelmässä kone nostaa 80...2000 kN järkäleen tietylle korkeudelle maanpinnasta ja järkäleen annetaan pudota vapaasti pudotustiivistys suunnitelman mukaisesti. Pudotustiivistyksen vaikutus ulottuu 10...30 m syvyyteen. Pudotustiivistys soveltuu louhe-, sora-, hiekka- ja silttikerrosten tiivistämiseen. (Rantamäki, Tammirinne 1979)

Helsingin kaupunki on tehnyt pudotustiivistyksiä 1990-luvulla mm. Vuosaarella ja Salmisaarella.



Kuva 4.7: Pudotustiivistyksen suorittaminen. (Rantamäki, Tammirinne 1979)

4.7.2 Tiivistyspaalutus

Tiivistyspaalutus perustuu maahan lyötävien usein kartiomaisten paalujen maata syrjäyttävään ja siten ympäröiviä maakerroksia tiivistävään vaikutukseen. Paalut joiden pituus on 1,5...6 m lyödään 0,5...1 m välein, vedetään sitten ylös ja syntyneisiin reikiin juntataan soraa tai hiekkaa. (Rantamäki, Tammirinne 1979)

Tiivistyspaalutusta on käytetty paksujen ja löyhien kitkamaakerrosten tiivistämisessä.

4.7.3 Täryhuuhtelu

Täryhuuhtelu on maapohjan tiivistämistä suurella sauvatäryttimellä, joka upotetaan maahan täryttimen oman painon, tärytyksen ja vesihuhtelun avulla. (Rantamäki, Tammirinne 1979)

Kitkamaalajien täryhuuhtelu toteutetaan ns. tärytiivistyksenä, kun taas koheesiomaalajeissa täryhuuhtelua on syytä soveltaa ns. tärytättönä:

- tärytiivistyksessä annetaan täryttimen vajota maahan oman painon ja tärytyksen vaikutuksesta. Kun haluttu käsittelysyvyys on saavutettu, syntynyt reikä täytetään sora- tai hiekkatäyteellä ja samanaikaisesti nostetaan ja lasketaan tärytintä sekä säädellään huuhteluvien virtausta halutun tiiviiden saamiseksi. Parhaiten tärytiivistys soveltuu hiekkamaahan.
- tärytättö tarkoittaa sora- tai kivipilarien tekemistä täryhuuhtelulaitteella joko vesihuhtelulla tai laitteella aikaansaataavaa yli-

painetta käyttäen. Alueen kuivanapitosyistä koheesiomaahan tehtävän reiän huuhtelussa syntyvä liete on pumpattava pois työalueelta. Reikä täytetään pätkittäin soralla, murskeella tai kivillä tärytintä samanaikaisesti pystysuunnassa liikuttaen. Tärytätön seurauksena saadaan läpimitaltaan 0,6...1,1 m sora-pilari.

Täryhuuhtelumenetelmästä on toistaiseksi kokemuksia enimmäkseen vientirakennuskohteissa.

5 ESIKUORMITTAMINEN

5.1 SUUNNITTELU

5.1.1 Laatuvaatimukset

Tavoitteena on poistaa maapohjan painumat tai pienentää niitä siten, että esirakentamisen jälkeen voidaan tulevat rakenteet, pihat, kentät, putkijohdot ym. kunnallistekniikka rakentaa huomioiden ennalta määritetyt painumakriteerit.

Esikuormitusperiaatetta käytettäessä vähimmäistavoitteena voidaan tapauskohtaisesti pitää esim. sitä, että esirakentamisen jälkeen painumat tulevat olemaan niin pieniä, että alueen putkijohdot, kadut ja pihat voidaan perustaa maan varaan eivätkä piha-alueiden pinnoitteet painu haitallisesti. Toissijaisena tavoitteena voidaan tapauskohtaisesti pitää sitä, että ainakin osa rakennuksista (kevyet piharakennukset) voidaan perustaa maan varaan.

5.1.2 Lähtötiedot

Esikuormittamissuunnittelua varten täytyy pohjamaasta olla riittävät geotekniset lähtötiedot. Tavallisimmat kairaukset esikuormitusta suunniteltaessa ovat:

- paino- tai puristinkairaukset
- siipikairaukset
- mäntäkairaukset (häiriintymättömät näytteet)
- CPTu-kairaukset

CPTu-kairausten käyttö on erityisen suositeltavaa kerroksellisessa maassa huokosylipaineen purkautumisreitien määrittämistä varten. Lisäksi maahan voidaan asentaa erillisiä huokoskärkiä, joiden avulla voidaan arvioida konsolidaatioasetta.

Kairausten yhteydessä on tärkeää asentaa myös pohjavesiputkia kohteen eri osiin. Asentamisen yhteydessä otetaan tavallisesti myös häiriintyneitä maanäytteitä laboratoriotutkimuksia varten.

Tavallisimmat laboratoriossa selvittävät ominaisuudet ovat seuraavat:

- tilavuuspaino, vesipitoisuus, hienousluku, kartiolujuus
- rakeisuus, humuspitoisuus
- juoksuraja, plastisuusraja

Lisäksi laboratoriossa suoritetaan ödometrikokeet maan kokoonpuristuvuusominaisuuksien selvittämiseksi. Lähinnä pystyjakenttien suunnittelussa voidaan ödometrikokeella selvittää pystysuoran konsolidaatiokertoimen c_v lisäksi myös vaakasuoran konsolidaatiokertoimen arvo c_h .

5.1.3 Geotekninen mitoitus

Painumat

Ödometrikokeesta saatavien kokoonpuristuvuusparametrien avulla on mahdollista arvioida maapohjan painumaa tulevan rakenteen vaikutuksesta. Tämä laskenta antaa tietoa tarpeellisen ylipenkereen korkeudesta. Lisäksi ödometrikokeesta saatavan c_v -kertoimen avulla voidaan arvioida maapohjan painumien ajallista kehitystä.

Vakavuus

Vakavuuslaskennat voidaan suorittaa liukupintalaskelmilla tavanomaisia laskentaohjelmia käyttäen. Esikuormituspenkereen vakavuutta arvioitaessa on syytä selvittää vastapenkereiden käytön mahdollisuus vakavuuden varmistamiseksi.

Kantavuus

Esikuormitusta suunniteltaessa täytyy huomioida maapohjan kantavuus. Maapohja ei saa murtua ylipenkereen vaikutuksesta. Kantavuuskaavojen avulla voidaan arvioida maapohjan kantavuutta ja täten laskea maapohjan sallittu kuormitus.

Pystyjoitus

Pystyojakentän suunnittelu aloitetaan selvittämällä maapohjan ominaisuuksien vaikutus pystyojanauhojen valintaan ja nauhojen asennuksen aiheuttamat ehdot mitoitukselle:

- suojaputkelle ja ankkurilevyille suositellaan maksimikoko maapohjan häiriintymisen pienentämiseksi
- suojaputken tärytystä ei sallita asennusvaiheessa
- häiriintyneen vyöhykkeen laajuus selvitetään mitoituslaskelmia varten
- selvitetään kaluston aiheuttamat erityisehdot pystyojanauhojen sijoitukselle (neliö/kolmioverkko)

Tämän jälkeen mitoitetaan pystyoväli ja esikuormituksen suuruus sekä mahdollisesti tarvittavien vastapenkereiden leveys ja korkeus.

Tielaitoksen julkaisussa nro 42/1994 ”Nauhapystyjoitus” on yksityiskohtaiset ohjeet mitoituksen suorittamisesta.

Vakuumikonsolidaatiossa huomioita seikkoja

Pohjavesipinnan sijainnilla on merkittävä vaikutus suunniteltaessa vakuumikonsolidaatiota. Tiiviin rakenteen aikaansaamiseksi käsiteltävää aluetta peittävän tiivistekalvon reunat on ulotettava pohjavedenpinnan alapuolelle. Syväällä sijaitseva pohjavesi lisää tiivistämiskuluja sekä vähentää vakuumikonsolidaati-

on tehoa ja voi täten oleellisesti heikentää vakuumikonsolidaation taloudellisuutta. Jacob et al [1994] ovat esittäneet, että jos pohjavedenpinta sijaitsee yli 10 m syvyydellä ei alipaineella ole käytännössä mitään vaikutusta huokosvedenpaineeseen. (Puumalainen, Havukainen 1996)

5.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Ylipenkereen rakentaminen pehmeiköllä saattaa aiheuttaa pohjamaan liikkeitä penkereen sivuilla. Tämä tapahtuu varsinkin silloin, kun ylikuormitus on liian suuri ja maan kantokyky ylittyy. Täten suunnitelmissa täytyy huomioida, ettei maapohjaa kuormiteta liiaksi. (Tielaitos 42/1994)

Pystyojien asennusvaiheessa tapahtuvalla maapohjan häiriintymisellä voi olla vaikutusta ympäristöön erityisesti rinnealueilla, joissa liukusortuman mahdollisuus kasvaa. Lisäksi pystyojat alentavat pohjavedenpintaa, mikäli pohjavesi on paineellista ja pystyojat ulotetaan vettä johtaviin kerroksiin. Suunnitelmia laadittaessa täytyy ojaväli valita siten, että maapohjaa ei häiritä tarpeettomasti. (Tielaitos 42/1994)

5.1.5 Kustannustarkastelut

Esikuormituspenker

Esikuormituspenkereen kustannuksiin vaikuttaa saatavissa olevat pengermassat. Mikäli ylipenkereeseen tulevat materiaalit joudutaan kuljettamaan kaukaa, kasvavat kustannukset merkittävästi. Mahdollisuuksien mukaan ylipenkereessä voidaan käyttää samoja materiaaleja, joilla on myöhemmin tarkoitus rakentaa varsinainen rakenne. Tällöin ylipenger toimii rakennusmateriaalien välivarastona. Kustannuksia voidaan pienentää, jos on mahdollista käyttää siirtyvää esikuormituspengertä. Tällöin täytyy kuitenkin esirakentamisaikaa olla käytettävissä riittävästi.

Helsingin kaupungin suorittamien esirakentamiskohteiden mukaan esikuormituspenkereen kustannukset vaihtelevat noin 80...100 mk/m², riippuen kohteesta ja käytettävissä olevista pengermassoista. Liitteessä 1 on esimerkkilaskelma esikuormituspenkereen käytöstä esirakentamisessa.

Esikuormituspenker ja pystyojitus

Pystyojakenttää suunniteltaessa merkittävin kustannustekijä on pystyojaväli. Suunnittelijan valitsema ojaväli ja ojitussyvyys vaikuttavat herkästi pystyojituksen hintaan. Ojavälin kasvattaminen kymmenellä sentillä pienentää ojien yhteismäärää jopa 20 %.

Helsingin kaupungin Vuosaaren liikuntapuiston esirakentamistarkastelun yhteydessä esikuormituspenkereen ja pystyojituksen kustannuksiksi arvioitiin noin 130...140 mk/m². Nauhapystyojien hinta asennettuna on noin 4...7 mk/m (Tielaitos 42/1994). Liitteessä 1 on esimerkkilaskelma esikuormituspenkereen ja pystyojituksen käytöstä esirakentamisessa.

Vakuumikonsolidaatio

Vakuumikonsolidaatiossa pystyöjen lisäksi tiivistyskalvon hankinta ja asentaminen on kustannuksia lisäävä tekijä. Tiivistekalvon hinta asennettuna vaihtelee 60...150 mk/m². Lisäksi pumppauksen aikana muodostuvat hoitokulut saattavat olla yllättävän suuria. (Puumalainen, Havukainen 1996)

Helsingin Torpparinmäessä 1995 suoritettun vakuumikonsolidointikokeen yhteydessä laskettiin kustannukset pinta-alan mukaan siten, että 3600 m² vakuumikonsolidointi maksoi 178 mk/m². Mitä suuremmaksi käsiteltävä alue kasvaa, sitä edullisemmaksi vaihtoehdoksi vakuumikonsolidointi muodostuu. (Puumalainen, Havukainen 1996)

5.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään esikuormitettavan alueen rajat, pystyöjaväli ja oien syvyys, esikuormituspenkereen dimensiot sekä vakuumikonsolidoinnissa lisäksi muovikalvon asentamiseen liittyvät detaljit.

5.2 RAKENTAMINEN

5.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Esikuormituspenker ja pystyöjitys

Pystyöjitetun kentän rakentaminen aloitetaan poistamalla maan pinnalta humuskerros. Maapohjaa leikataan tämän jälkeen suunnitelmissa osoitettuun syvyyteen. Leikkauspohjalle asennetaan suodatinkangas ja tämän päälle rakennetaan ojituskerros, joka toimii samalla pystyöjituskoneen alustana. Ojituskerroksen paksuus on 0,3...0,6 m riippuen maapohjan pehmeydestä. Ojituskerroksen materiaalina käytetään jakavan soraa tai suodatinhiekkää. Materiaali valitaan siten, että se on pystyöjituskaluston suojaputkella läpäistävää. Ojituskerrokseen suodatautuvat vedet johdetaan kuormitettavan alueen ulkopuolelle. (Tielaitos 42/1994)

Ojituskerroksen päälle rakennetaan painuma-aikainen penger kitkamaasta, murskeesta tai pienlouheesta. Painuma-ajan loputtua ylipenger puretaan ja alueen rakennekerrokset rakennetaan suunnitelmien mukaisesti. (Tielaitos 42/1994)

Vakuumikonsolidaatio

Vakuumikonsolidoinnissa pystyöjen asentamisen jälkeen asennetaan ojitetulle alueelle muovikalvo. Kalvon reunat tiivistetään upottamalla ne reunaosiin vähintään 0,5 m pohjavesipinnan alapuolelle. Mikäli pohjavedenpinnan alapuolella lähellä maanpintaa on rakenteen tiiviyden kannalta haitallisia siltti- tai hiekkalinssejä, on kalvon reunat syytä upottaa näiden linssien alapuolelle. Kalvon reunat tiivistetään reunaosia vasten bentoniitilla tai savella. Ojiin johdetaan vettä bentoniittiliitteen päälle tiiviysvaikutuksen tehostamiseksi. (Puumalainen, Havukainen 1996)

Tiivistekalvon vaurioituminen estetään ympäröimällä se molemmiin puolin suojamateriaalilla. Suojamateriaalina voidaan käyttää esim. hiekkaa tai kuitukan-kaita.

Alipainepumpun sijainti vaikuttaa systeemin tehokkuuteen. Mitä pienempi on pumpun imukorkeus, sitä tehokkaammin systeemi toimii. Tästä syystä pumppu tulisi sijoittaa mahdollisimman alas.

5.2.2 Olosuhdetekijät

Mikäli esikuormituspenkereessä käytetään hienorakeisia maalajeja täytyy huomioida, että talvella pengermateriaali voi jäättyä yhdeksi ”kamiksi”. Täten, mikäli ylipenkereen purkamisaika ajoittuu talveen, voi penkereen purkaminen osoit-tautua yllättävän vaikeaksi.

Jos pystyöjitus tehdään talviolosuhteissa, on huolehdittava ettei hiekan joukos-sa ole lunta tai jäätä ja etteivät suodatin ja ojat ole jäässä, kun pengerraken-netaan pystyöjituksen päälle. (Tielaitos 42/1994)

5.2.3 Kalusto- ja materiaalivaatimukset

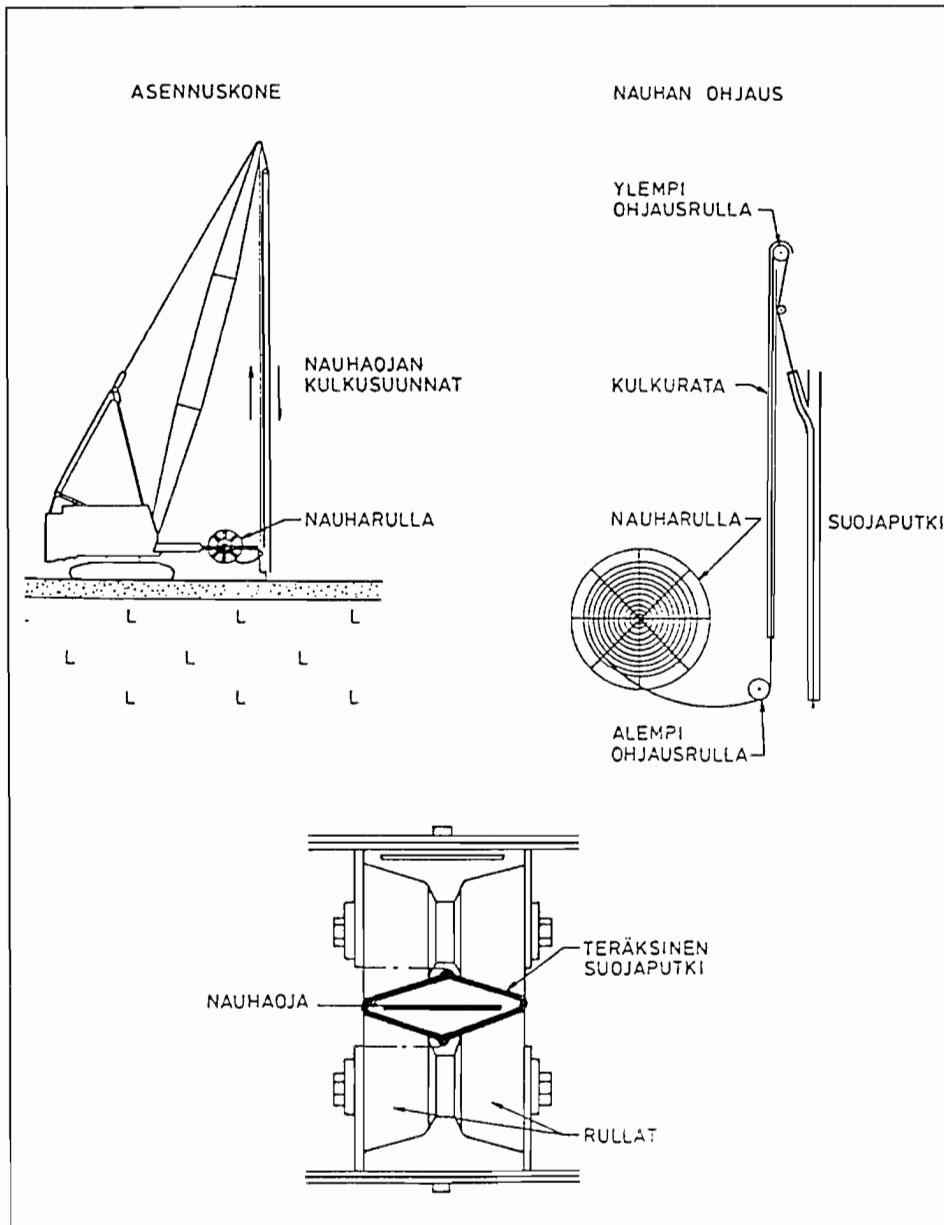
Esikuormituspengerr

Esikuormituspengertä rakennettaessa käytetään normaaleja maarakentami- sessa käytettäviä koneita. Mikäli pengermateriaali joudutaan kuljettamaan, hoi- detaan kuljetustyö tavallisilla kuorma-autoilla. Työmaan sisäistä kuljetusta voi- daan lisäksi hoitaa dumppereilla.

Esikuormituspengerr rakennetaan tavallisesti kitkamaasta, murskeesta tai pienlouheesta.

Esikuormituspengerr ja pystyöjitus

Nauhapystyöjien asentamiseen käytetään tavallisesti tähän tarkoitukseen muunnettua paalutuskalustoa ja joissakin tapauksissa erityisesti tähän tarkoi- tukseen rakennettua kalustoa. Asennuskoneen rakenne esitetään kuvassa 5.1.



Kuva 5.1: Nauhapystyöjen asennuskone. (Tielaitos 42/1994)

Pystyöjanauhoja on nykyään kehitetty erilaisia käyttötapoja ja käyttöympäristöjä varten. Tästä syystä tielaitoksessa on otettu käyttöön kriteerit pystyöjanauhojen hyväksymistä, valintaa ja laadunvalvontaa varten. Suomessa tyyppihyväksytyt nauhaojat löytyvät tielaitoksen julkaisusta 42/1994 "Nauhapystyöjitus".

Vakuumikonsolidointi

Vakuumikonsolidoinnissa käytettävä muovikalvo on tavallisesti HDPE tai VLDC- kalvoa. Toisinaan on käytetty myös PVC ja CPE- kalvoja, joiden läpäisykestävyys on hieman parempi kuin HDPE-kalvon.

Vakuumikonsolidoinnissa käytettävän alipainepumpun on oltava riittävän tehokas, jotta sen avulla saadaan riittävän suuri alipaine käsiteltävään maahan. Pumppauskapasiteetin määrä vaihtelee kohde kohtaisesti. Yhdellä 90 kPa:n alipainepumpulla käsiteltävän alueen maksimikoko voi vaihdella välillä 1000...10 000 m². (Puumalainen, Havukainen 1996)

5.2.4 Työn suorittamisen dokumentointi

Esikuormittamisen yhteydessä urakoitsija laatii työkohteesta tarkepiirustukset, joihin merkitään suunnitelmista poikkeavat ratkaisut. Erikoisesti urakoitsija on velvollinen seuraamaan ja dokumentoimaan ylipenkereen yläpinnan korkeutta eri rakentamisvaiheissa.

Pystyöjitustyön toteutumista suunnitelma mukaisena valvotaan urakoitsijan tai rakennuttajan pitämän pystyöjituspöytäkirjan avulla. (Tielaitos 42/1994)

5.2.5 Laadunvarmistus

Esikuormituspenget ja pystyöjitys

Esikuormituksen laadunvarmistus koskee ensisijaisesti pystyöjien materiaalia ja pystyöjälentämisen työn tekemisen laadunvarmistusta.

Pystyöjälentämisen hankekohtainen, työnaikainen laadunvalvonta sisältää seuraavat laadunvalvontatoimenpiteet: (Tielaitos 42/1994)

- ojanauhatoimitusten ja varastoinnin tarkastus
- nauhanäytteiden ottaminen
- laadun tasaisuuden tarkkailu

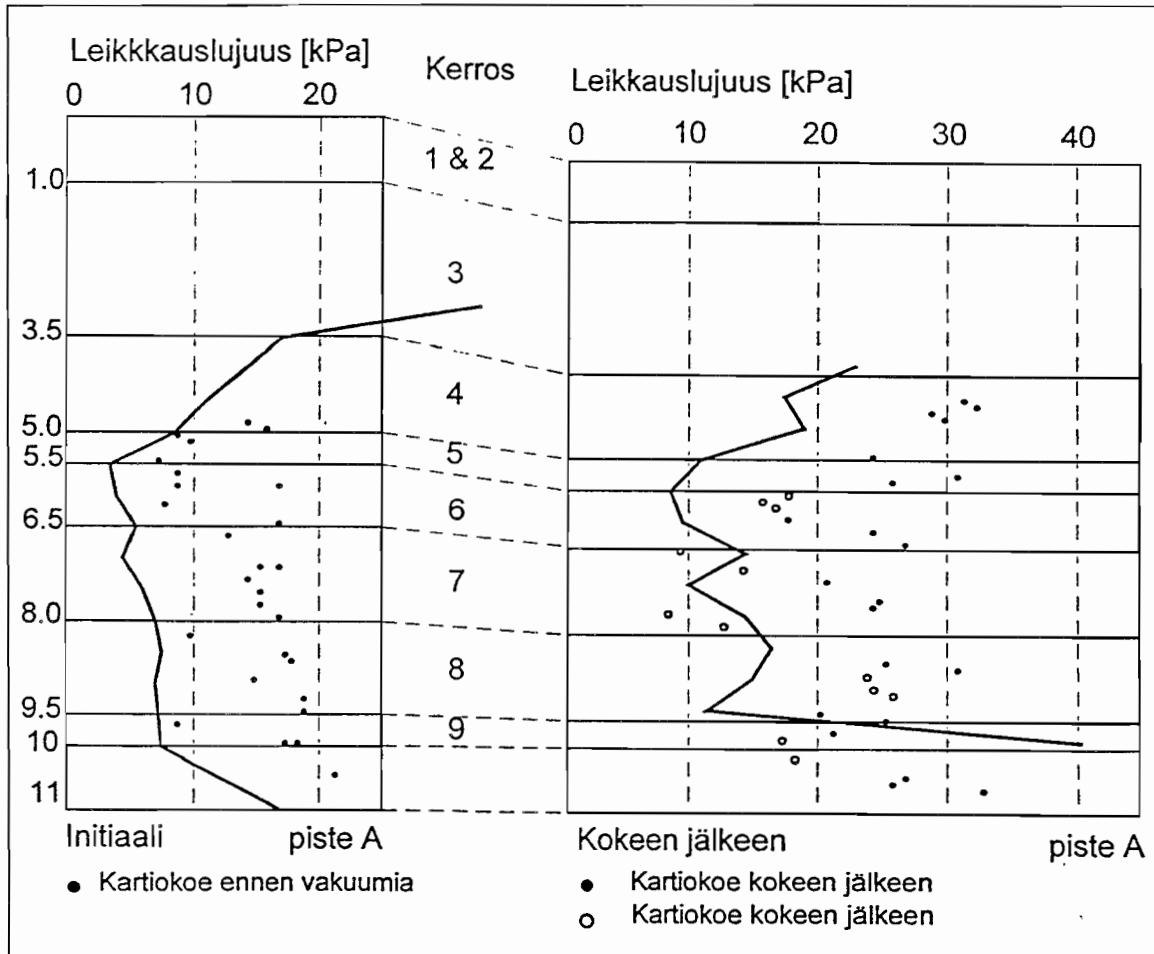
Ennen pystyöjälentämisen aloittamista tarkastetaan, että pystyöjälentäkone ja asennuksessa käytettävä suojaputki täyttävät niille asetetut vaatimukset. Asennuskerroksen ja tiiviiden välikerrosten läpäisykyky tulee myös varmistaa. (Tielaitos 42/1994)

Pystyöjälentämisen yhteydessä tulee päähuomio kiinnittää ojanauhan ehjään säilymiseen, maapohjan tarpeettoman häiriintymisen välttämiseen ja ojien sijainnin ja syvyyden toteutumiseen suunnitelmien mukaisesti. (Tielaitos 42/1994)

Pystyöjälentämisen toteutumista suunnitelmien mukaisena valvotaan urakoitsijan tai rakennuttajan pitämän pystyöjälentäkirjan avulla.

Vakuumikonsolidointi

Vakuumikonsolidoinnin laadunvarmistusta voidaan suorittaa mm. kokeen päätyttyä tehdyin pohjatutkimuksin. Helsingin Arabianrannassa suoritettuna vakuumikonsolidointikokeen jälkeen suoritettiin pohjatutkimuksia, joilla varmistettiin kokeen onnistumisesta. Kuvassa 5.2 on esitetty siipikairauksen ja kartiokokeiden tulokset ennen ja jälkeen vakuumikonsolidointikokeen.



Kuva 5.2: Ennen vakuumikonsolidointia ja sen jälkeen tehtyjen siipikairausten ja kartiokokeiden tulosten vertailu. (Puumalainen, Vepsäläinen 1997)

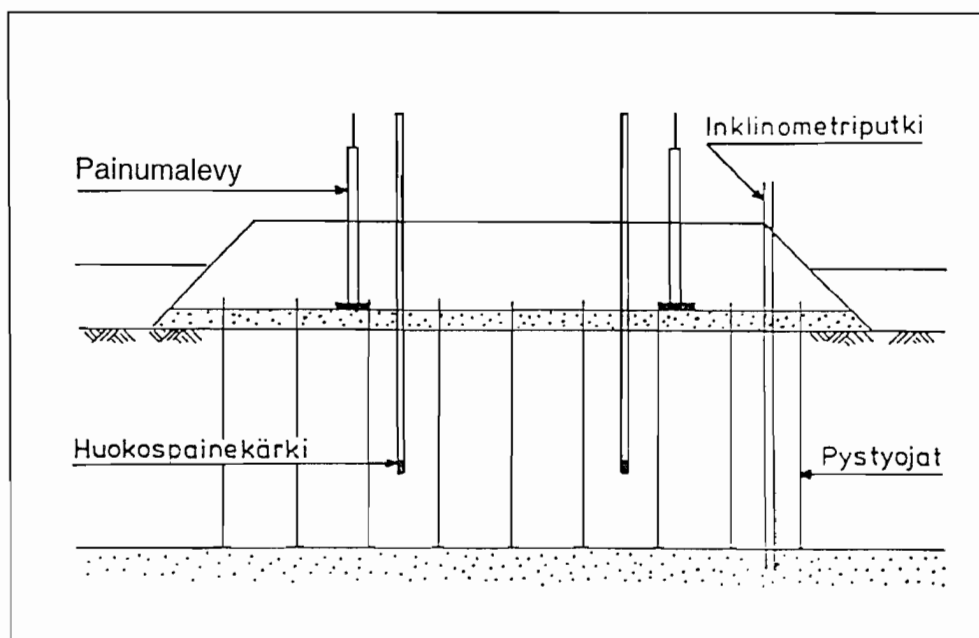
5.2.6

Jälkiseuranta

Seurantamittausten avulla voidaan selvittää esikuormituspenkereen ja pysty-
jitetun maapohjan todellista käyttäytymistä. Tavallisimmat seurantamittaukset
ovat seuraavat: (Tielaitos 42/1994)

- poikkileikkausvaa'itukset
- painumamittaukset
- huokospainemittaukset

Muita mahdollisia seurantamittauksia ovat eri kerrosten painuma- ja muodon-
muutosmittaukset ekstensiometrillä. Lisäksi maapohjan sivusiirtymiä voidaan
mitata inklinometrillä. Kuvassa 5.3 esitetään tyypillinen jälkiseuraintainstru-
mentointi pystyjojitetussa hankkeessa.



Kuva 5.3: Tyypillinen instrumentointi pystyöjitushankkeessa. (Tielaitos 42/1994)

6 KEVENTÄMINEN

6.1 SUUNNITTELU

6.1.1 Laatutavoitteet

Pengerkuormaa keventämällä vähennetään maapohjalle aiheutuvaa lisäkuormitusta tai poistetaan se kokonaan. Keventeitä käyttämällä saadaan maapohjan painumat pysymään sallituissa rajoissa tai mikäli kohteessa on vakavuusongelmia, voidaan pengerkuormaa keventämällä parantaa rakenteen stabiili-teettia. Esirakentamiskohteen laajuudesta, pohjaolosuhteista ja alueen tulevasta käytöstä riippuen voidaan keventäminen suorittaa joko osittaisena tai kokonaiskevennyksenä. Osittaiskevennyksessä maapohjalle tuleva kuormitus kasvaa ja painumia sallitaan. Kokonaiskevennyksessä maapohjan kuormitus ei kasva.

Osittaiskeventämistä voidaan käyttää mm. piha-alueilla, joille sallitaan painumia. Osittaiskevennys toimii parhaiten ylikonsolidoituneella pehmeiköllä. Varsinaiset rakennukset voidaan niiden toiminnallisen käyttötarkoituksen perusteella perustaa esim. paaluille tai kevyet rakenteet kokonaan kevennetylle pohjalle.

6.1.2 Lähtötiedot

Kevennettävää kohdetta suunniteltaessa täytyy pohjamaasta olla riittävät lähtötiedot. Tavallisimmat kairaukset kevennystä suunniteltaessa ovat:

- paino- tai puristinheijarikairaukset (maan kerrosrajat)
- siipikairaukset (leikkauslujuus)
- mäntäkairaukset (häiriintymättömät näytteet)

Kairausten yhteydessä on tärkeää asentaa myös pohjavesiputkia kohteen eri osiin. Keventeitä suunniteltaessa on muistettava niiden vettä kevyempi luonne, jolloin nosteen vuoksi täytyy huomioida ylin pohjavesipinta. Asentamisen yhteydessä voidaan ottaa myös häiriintyneitä maanäytteitä laboratoriotutkimuksia varten.

Tavallisimmat laboratoriossa selvitettävät ominaisuudet ovat seuraavat:

- tilavuuspaino, vesipitoisuus, kartiolujuus
- hienousluku, rakeisuus

Lisäksi laboratoriossa suoritetaan ödometrikokeet maan kokoonpuristuvuusominaisuuksien selvittämiseksi.

6.1.3 Geotekninen mitoitus

Kevennyiskohteissa sekä vakavuuden että painumien huolellinen selvittäminen on tarkoituksen mukaista seuraavilla perusteilla: (Tielaitos 28/1997)

- vaihtoehtoina on usein rakennusmenetelmiä, jotka voivat olla yhtä kalliita tai kalliimpia, mutta esim. penkereen painumattomuus saavutetaan varmemmin

- jos kevennys epäonnistuu voi taloudellinen vahinko olla suuri
- kevennetyn penkereen sortuman korjaaminen on vaikeata, koska koko rakenne joudutaan uusimaan toisella tekniikalla tai toisella kevennysmateriaalilla
- kevennetyn penkereen painumien korjaamiseen on vain rajoitetusti mahdollisuuksia

Vakavuus

Vakavuuslaskelmat tehdään tavanomaisina liukupintalaskelmina normaaleja laskentaohjelmia käyttäen seuraavien tielaitoksen ohjeiden mukaisesti: (Tielaitos 28/1997)

- Geotekniset laskelmat TIEL 2180002
- Maanvarainen tiepenger savikolla TIEL 3200276

Painumat

Painumalaskelmat tehdään pääsääntöisesti laskentaohjelmilla esim. seuraavien tielaitoksen ohjeiden mukaisesti: (Tielaitos 28/1997)

- Geotekniset laskelmat TIEL 2180002
- Maanvarainen tiepenger savikolla TIEL 3200276
- Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä TIEL 3200248

Kantavuus

Osalla kevennysmateriaaleista kantavuusmitoitus voidaan tehdä "Teiden suunnittelu" osan IV "Tien rakenne" kohdassa 5.25 esitettyjä periaatteita ja menetelmiä käyttäen. Varsinainen kantavuus voidaan laskea käyttämällä Odemarkin kantavuuskaavaa.

Noste

Vesialueiden läheisyydessä sekä tulva-alueilla keventeitä käytettäessä täytyy huomioida mahdollisen nosteen vaikutus. Nostemitoitus tehdään ylimpään mahdolliseen vesipinnan tasoon.

Nostemitoituksessa kevennysmateriaalien tilavuuspainoihin sisällytetään varmuusvaraa päinvastaiseen suuntaan kuin vakavuus- ja painumalaskelmissa. Tilavuuspainoina koko kevennysrakenteen osalta käytetään:

- kevytsora $3,0 \text{ kN/m}^3$
- EPS $0,2 \text{ kN/m}^3$

Muilla materiaaleilla tilavuuspainot harkitaan tapauskohtaisesti.

Kumimateriaali on vettä painavampaa. Rengaskeventeessä ei täten synny nostetta juuri lainkaan. Rengaskeventeitä voidaan halutessa käyttää ainoas-

taan vesipinnan alapuolelle jäävässä osassa kevennysrakennetta. (Tielaitos 28/1997)

Taulukossa 6.1 on esitetty kevennysmateriaalien tärkeimpiä ohjearvoja suunnittelun kannalta.

Taulukko 6.1: Kevennysmateriaalien mitoitusohjearvot.

Materiaali	Tilavuuspaino γ [kN/m ³]	Noste [kN/m ³]	Pur.lujuus σ [kPa]	Koheesio c [kN/m ²]	Kitkakulma ϕ °	E-moduuli [MN/m ²]	Paksuuskerroin routamitoituksessa
Kevytsora	4,0/5,0	7,0	-	0	37	50	4
EPS	1,0	9,8	100	0	0	7	1
Renkaat	2,0	0	-	20	26		*)
Rengasrouhe	6,0	0	-	10	26		6
Lentotuhka**)	15...16	0		30	32	120	10
Pohjatuhka***)	16	0		15	42	80	9

*) Ei merkitystä tuotteen käyttöalueella.

**) Helsingin Energian lentotuhka (lujittumattomana). Parametrit riippuvat tuhkan ominaisuuksista. Lujuusparametrien arvot kasvavat tuhkan lujituessa.

***)) Helsingin Energian pohjatuhka, vaativissa kohteissa tuhkaerän ominaisuuksista on varmistettava erikseen.

6.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Kevennysmateriaaleista lähinnä tuhkat ja renkaat ovat ympäristön kannalta eniten huomiota vaativia materiaaleja.

Tuhka

Tuhkien käyttö edellyttää aina ympäristölupaa. Alle 10 000 t (kuiva-aineksena) kohteissa lupa haetaan kunnallisilta ympäristöviranomaisilta. Suuremmissa kohteissa lupa haetaan alueelliselta ympäristökeskukselta. Lupamenettelyn kesto vaihtelee kunnista ja kohteen koosta riippuen viikosta (1 vko) kuuteen kuukauteen (6 kk). Lupahakemuksessa tarvitaan perustiedot kohteen koosta, tarkka sijoituspaikka, rakennekuvat, alueen pohjavesisuhteet ja mahdolliset eristämistoimenpiteet. (Lohja Rudus 1997)

Tuhka toimitetaan aina märkänä, joten se ei ole pölyävää. Tuhkakerros on kuitenkin aina peitettävä muilla kerroksilla mahdollisimman pian, tai muuten sitä on kasteltava kuivumisen estämiseksi.

Renkaat

Renkaiden ympäristövaikutuksia on tutkittu runsaasti Yhdysvalloissa. Tulokset viidestä Yhdysvalloissa tehdystä tutkimuksesta esittävät, että renkaista liukevat aineet eivät uhkaa ympäristöä.

Minnesotassa on myös tehty tutkimuksia rengasrouheen liukoisuusominaisuuksista laboratoriossa sekä kenttäkohteiden muodossa. Tutkimustulosten valossa on Minnesota asettanut suosituksia rengasrouheen käytölle maarakenteissa. Toinen suositus on rengasrouheen sijoittaminen pohjavedenpinnan yläpuolelle ja mielellään kuiviin olosuhteisiin. Myöskin suositeltiin lisää tutkimuksia rengasrouheen käytöstä tierakenteessa. (Repo 1997)

Rengaskeventeiden käyttö Suomessa vaatii toistaiseksi hankekohtaisen ympäristöluvan.

6.1.5 Kustannustarkastelut

Kevytsora

Kevytsoraa valmistetaan Kymenlaaksossa Kuusankosken kaupungissa. Täten kuljetuskustannukset saattavat muodostua usein varsin korkeiksi. Helsingin kaupungin suorittamien kevytsorakevennyksien kustannukset ovat vaihdelleet 120...200 mk/m². Kustannukset ovat voimakkaasti riippuvaisia tarvittavan kevennyksen paksuudesta. Kevytsoran hankintahinta Helsingin seudulla on noin 130...160 mk/m³itd. Liitteessä 2 on laskettu kevytsorakevennyksen kustannukset kuvitteellisessa tapauksessa.

EPS

EPS-kevennyksen hinta on noin 200...300 mk/m³. Hankintakustannukset riippuvat kohteen laajuudesta.

Tuhkat

Tuhka on kivihiilivoimalaitoksen sivutuotteena syntyvä materiaali, joten tuhkan kustannukset muodostuvat täten lähinnä kuljetuskustannuksista. Pohjatuhkan hinta Helsingin alueelle kuljetettaessa vuonna 1998 on 17 mk/t (toimituskosteana w=30 %). Lentotuhkan toimittamisesta vastaa toistaiseksi Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy ja kustannukset vaihtelevat kohteen etäisyydestä riippuen.

Tuhkarakenteen kustannus on Helsingin alueella 40...70 % vastaavan sorarakenteen kustannuksista.

Renkaat

Renkaiden hyötykäyttö keventeenä on ollut maassamme vielä hyvin vähäistä. Uudenmaan tiepiirin kesällä 1997 toteuttamassa kohteessa muodostuivat rengasrouheen kustannuksiksi noin 75 mk/m³rtr.

6.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

Kevennysrakenteiden suunnitteluratkaisut esitetään piirustuksissa ja työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä.

Piirustuksissa on esitettävä kevennyksen pohjan korkeustiedot ja reunapenke-reitä käytettäessä niiden mittatiedot ja mahdollinen suodatinkankaiden tai geovahvisteiden käyttö. Massamaisilla kevennysmateriaaleilla riittää pohjan tasoi-tus mahdollisimman tarkkana leikkaustyönä. Rakeisilla ja kappalemaisilla ke-vennysmateriaaleilla on yleensä syytä käyttää suodatinkangasta, jos materiaali tulee savi- tai silttipohjamaanpäälle. (Tielaitos 28/1997)

Kevennysmateriaalin laatu on aina esitettävä suunnitelmapiirustuksissa. Kaikilla kevennysmateriaaleilla on esitettävä piirustuksissa kuivatus.

Päälysrakenteen edellyttämä kevennysmateriaalin pinnan käsittely on esitettä-vä piirustuksissa, kuten myös rakenteen kokonaispaksuus, rakennepaksuudet ja käytettävät materiaalit.

6.2 RAKENTAMINEN

6.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Kevytsora

Ennen kevytsoran levitystä rakennetaan piirustuksissa mahdollisesti esitetyt kevennyksen alaosan reunapenkereet, jotta kevytsora saadaan ajetuksi reu-noja tukeviin "laatikoihin". Kevennyksen pohja kuivatetaan ja kevytsora levite-tään yhtenä kerroksena ellei suunnitelmissa muuta ilmene. Alustava tiivistymi-nen tapahtuu kevytsoran levityksen yhteydessä. (Tielaitos 28/1997)

Luiskat reunapenkereiden yläpuolella verhoillaan luiskatäytteellä välittömästi kevytsoran levittämisen jälkeen. Kevytsoran päälle ajetaan päälysrakenteen alaosa jakavan kerroksen materiaalista. Ensimmäinen tiivistys tehdään, kun ja-kavaa kerrosta on ajettu 0,25...0,3 m paksuinen kerros. (Tielaitos 28/1997)

Mikäli rakenteen mitoitus on nosteen suhteen tarkka, täytyy työnaikaisin kuiva-tuksin pitää huoli siitä ettei kevennyksen alaosaan pääse vettä ennenkuin ra-kenteen paino on riittävä.

EPS

EPS-harkot asennetaan tiivistetylle tarkasti oikeaan korkeuteen rakennetulle ja hyvin tasoitettuun asennushiekalle. Harkot ladotaan kerroksittain suunnitelman mukaista ryhmittelyä käyttäen. Harkot kiinnitetään alla olevaan harkkokerrok-seen harkkojen läpi työnnettävillä 12 mm teräksillä. (Tielaitos 28/1997)

Mikäli harkkokerrokseen syntyy työtarkkuudesta johtuen epätasaisuutta, suori-tetaan tasointi ohuella hiekkatäytöllä.

Välittömästi harkkorakennelman kasaamisen jälkeen tehdään suunnitelmissa esitetty yläpinnan suojaus. Mikäli kyseessä on tierakenne, suojaus voidaan

tehdä esim. teräsbetoni-laattaa käyttäen. Piha-alueilla ja muilla vähemmän kuormitettavilla alueilla voidaan EPS-keventeen päällä käyttää perinteisiä kiviainesmateriaaleja. Liikennealueille asennettavat EPS-kappaleet suojataan tarvittaessa syövyttäviä kemikaaleja vastaan esim. muovikalvolla.

Tuhka

Tuhka levitetään joko suoraan leikkauspohjalle, tai pohjalle asennetun suodatinkankaan tai suodatinkerroksen päälle olosuhteista riippuen. Kohteeseen parhaiten soveltuva tiivistyskoneen ja tiivistyskertojen määrä selvitetään koetii-vistämällä. Esitiivistys suoritetaan levitys- ja tai kuljetuskalustoa käyttäen. Lentotuhkaa ei saa levittää avoveteen tuhkan liettymisen vuoksi.

Tuhkarakenne on tehtävä osuuksittain niin valmiiksi, että siihen voidaan levittää välittömästi seuraava suojaava rakennekerros muusta kiviaineksesta (Lohja Rudus 1997). Pohjatuhkan käyttöä maanrakentamisessa on esitetty julkaisussa ”Pohjatuhka”.

Renkaat

Kevennerakennetta tehtäessä rengasrouhe ajetaan tasatun pohjamaan päälle ja levitetään esim. puskutraktorilla. Pohjamaan pintaan on syytä levittää suodatinkangas, jolla estetään maa-ainesten sekoittuminen rouheeseen. Rengasrouheen tiivistäminen voi tapahtua rouhekerroksen päältä. (Repo 1997)

6.2.2 Olosuhdetekijät

Kevytsora

Kevytsorakevennystä talvityönä tehtäessä täytyy huolehtia siitä, että leikkauspohja ei ole paksussa jäässä. Kevytsoraan ei saa sekoittua lunta eikä jäätä.

EPS

Mikäli EPS-harkkoja varastoidaan työkohteessa vaativat ne suojaamista tulelta, öljytuotteilta, kovalta tuulelta, kostumiselta ja suoralta auringonpaisteelta. Veden, lumen ja jään suhteen vaatimukset ovat samat kuin kevytsoralla.

Tuhka

Lentotuhka on helposti liettyvä materiaali, joka on herkkiä vesipitoisuuden voimakkaisiin muutoksiin optimivesipitoisuuden ylittyessä. Tämän vuoksi on lentotuhkan pinta suojattava vettäpidättävällä peitteellä tai muovikalvolla rankkasateen sattuessa. Myös leikkauspohjan täytyy olla kuiva, ennenkuin lentotuhkasta rakentaminen on mahdollista.

Kuivalla ilmalla tuhkarakenne on peitettävä nopeasti muilla materiaaleilla tai sitä on kasteltava pölyämisen estämiseksi.

Pohjatuhkasta rakennettaessa ei esiinny em. ongelmia.

Renkaat

Rengasrakentamisesta ei vielä ole Suomessa kovinkaan paljon kokemukseen perustuvaa tietoutta, joten materiaalin olosuhdeherkkyydestä voidaan esittää ainoastaan arvioita. Kuitenkin, renkaiden kumimaisesta luonteesta johtuen renkaat kestävät hyvin esim. säävaihteluita.

6.2.3 Kalusto- ja materiaalivaatimukset

Kevennerakenteiden tekemiseen voidaan käyttää normaaleja maarakentamisessa käytettäviä työkoneita.

6.2.4 Laadunvarmistus

Kevytsora

Hanketasolla tarpeelliset laadunvarmistusmenetelmät ja niiden laajuus riippuvat tavarantoimittajan oman laadunvarmistuksen perusteellisuudesta ja luotettavuudesta.

Mikäli toimittajalla ei ole vaatimukset täyttävää omaa laadunvarmistusta, materiaalin laatua valvotaan työkohteessa tekemällä mm. rakeisuus- ja tilavuuspainoselvityksiä.

EPS

Materiaalin laatu todetaan toimituserittäin valmistajan antamien laatuselvityksien perusteella. Harkkojen mitat tarkistetaan kustakin toimituserästä muutamalla pistokokeella. (Tielaitos 28/1997)

Tuhka

Pohjatuhkan laatu vaihtelee vain vähän. Sen sijaan lentotuhkan laatu vaihtelee mm. käytetystä kivihiililaadusta, voimalaitoksesta ja jopa kattilasta riippuen. Tämän vuoksi lentotuhkarakentaminen vaatii kokemusta, asiantuntemusta ja huolellista työn valvontaa. Tärkeintä on huolehtia siitä, että optimivesipitoisuuden vaihteluväli on ennakkoon tiedossa ja vesipitoisuus pysyy sen alarajalla.

Tärkein ja ainoa luotettava tieto tuhkasta saadaan mittaamalla sen vesipitoisuus nopealla menetelmällä. Rakentamisesta saadun kokemuksen perusteella vesipitoisuuden nopeaan mittaamiseen voidaan käyttää karbidometri-menetelmää.

Tiiviiden tarkkailu voidaan suorittaa volymetrikokeella ja verrata tulosta vastaavasta materiaalista Proctor-kokeella optimivesipitoisuudessa määritettyyn maksimikuivatilavuuspainoon. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että menetelmä on lentotuhkilla huono johtuen tuhkaerien suuresta maksimikuivatilavuuspainon

vaihtelusta. Tiivistämistapa löytyy parhaiten koetiivistämisen perusteella. Siten lentotuhkalle soveltuu parhaiten menetelmätarkkailu täydennettynä aika ajoin tehtävillä tiiviyskokeilla.

Renkaat

Kokemukset rengaskeventeiden käytöstä ovat Suomessa toistaiseksi vähäiset. ”Rengasrakentamisen” erikoispiirteenä on materiaalin kimmoisuus, minkä johdosta merkittävä osa tiivistymisestä ja painumisesta tapahtuu vasta rakennekerrosten ajamisen yhteydessä. Tämä vaatii painumisen ennakkointia, jotta rakenteen taseus saadaan oikealle korkeudelle. (Tielaitos 28/1997)

6.2.5 Jälkiseuranta

Kevennettyjen rakenteiden jälkiseurantaa voidaan suorittaa esim. painuma- ja kantavuusmittauksin. Painumamittaukset voidaan toteuttaa esim. painumaletkuin tai painumalevyin. Painumamittauksilla voidaan nähdä myös stabiliteetin kehitystä. Jos painumanopeus kasvaa, on se yleensä merkinä sortuman syntymisestä. Kantavuutta voidaan mitata mm. levykuormituskokein ja pudotuspainolaitteella.

7 MASSANVAIHTO

7.1 SUUNNITTELU

7.1.1 Laatutavoitteet

Massanvaihdon tavoitteena on poistaa pohjamaasta heikosti kantavat ja painumaa aiheuttavat tai saastuneet maakerrokset. Laatutavoite voi vaihdella massanvaihdon syvyydestä riippuen siten, että osittaisessa massanvaihdossa varaudutaan massanvaihdon alapuolisen maan painumaan. Mikäli massanvaihto suoritetaan kovaan pohjaan eivät painumat yleensä muodostu merkitseväksi tekijäksi.

Esirakentamisen yhteydessä täytyy massanvaihdon materiaalin laatuun kiinnittää huomioita. Materiaali täytyy valita siten, että alueelle mahdollisesti tehtävä muu pohjanvahvistaminen on mahdollista. Materiaalin valinnassa täytyy huomioida mm. läpipaaluuttamisen mahdollisuus.

7.1.2 Lähtötiedot

Massanvaihdon suunnittelu vaatii pohjamaasta seuraavia lähtötietoja:

- pehmeikön syvyys
- maan leikkauslujuus
- kovan pohjan kaltevuus (pohjaantäyttö)

Tyypillisimpiä kairauksia ovat:

- paino- tai heijarikairaus (kerrosrajat)
- siipikairaus (leikkauslujuus)

Kairausten yhteydessä asennetaan myös pohjavesiputkia kohteen eri osiin. Häiriintyneistä näytteistä tavallisimpia laboratorioissa selvitettäviä ominaisuuksia ovat:

- rakeisuus, tilavuuspaino, vesipitoisuus
- kartiolujuus

7.1.3 Geotekninen mitoitus

Painumat

Mikäli massanvaihto suoritetaan osittaisena täytyy massanvaihdon alapuolisen maan painumia arvioida normaaleja painumalaskentamenetelmiä hyväksikäyttäen. Mikäli massanvaihto suoritetaan kovaan pohjaan ei painumat muodostu merkitseväksi tekijäksi.

Vakavuus

Massanvaihtokaivannon luiskat tehdään normaalisti melko jyrkiksi kaltevuuteen 2:1...1:1, mikä tavallisesti riittää turvemaiden ja pehmeillä koheesiomailla, jos täyttö tapahtuu välittömästi kaivun perään (Tielaitos 2/1993). Mikäli kaivannossa joudutaan syystä tai toisesta työskentelemään ennen täyttöä, täytyy kaivannon vakavuutta tarkastella liukupintalaskelmin.

Massanvaihto kaivamalla

Massanvaihdossa kaivamalla vaikuttavat yksityiskohtaiseen suunnitteluun lähinnä kaivannon pysyvyys sekä vakavuus- ja painumakysymykset, ellei kaivua uloteta kovaan pohjaan.

Massanvaihtokaivannon leveyteen vaikuttavat penkereen leveys sekä maaperän sensitiivisyys ja leikkauslujuus. Kaivannon leveys mitoitetaan niin suureksi, että penkereen ja luiskien haitallinen painuminen estetään, sekä luiskien riittävä stabiiliteetti saavutetaan. (Tielaitos 2/1993)

Massanvaihto pengertämällä

Pohjaantäytössä vaikuttavat kohteen yksityiskohtaiseen suunnitteluun lähinnä penkereen leveys ja korkeus, pehmeikön paksuus, syrjäytettävän maan ominaisuudet sekä kovan pohjan sivu- tai pituuskaltevuus. (Tielaitos 2/1993)

7.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Massanvaihtotöistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia ovat työnaikainen pöly ja vesien sameutuminen, maanotosta aiheutuvat työnaikaiset ja pysyvät vaikutukset, ympäristön liikkeet ja vauriot rakenteille sekä massanvaihtoalueiden pitkistä keskeneräisyydestä aiheutuvat lähinnä visuaaliset haitat taajamaympäristössä. (Tielaitos 2/1993)

Mikäli massanvaihtopenkereen läheisyydessä on vaurioitumiselle alttiita rakenteita, pidetään ennen töiden alkua rakenteiden kuntoa koskeva katselmus, jossa rakenteiden omistajat ovat paikalla. Lähistön kaivoista on syytä selvittää veden pinta sekä tarvittaessa antoisuus ja veden laatu. Työn aikana tarkkailaan töiden vaikutusta alueen pohjavesioloihin.

7.1.5 Kustannustarkastelut

Massanvaihdon kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi täyttömassojen saatavuus. Mikäli massat joudutaan kuljettamaan kaukaa, kasvavat kohteen kustannukset voimakkaasti. Myös poiskaivettavien massojen sijoitus nostaa massanvaihdon kustannuksia, mikäli massat joudutaan kuljettamaan kaatopaikalle. Liitteessä 3 on esimerkkilaskelma massanvaihdon kustannuksista.

7.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

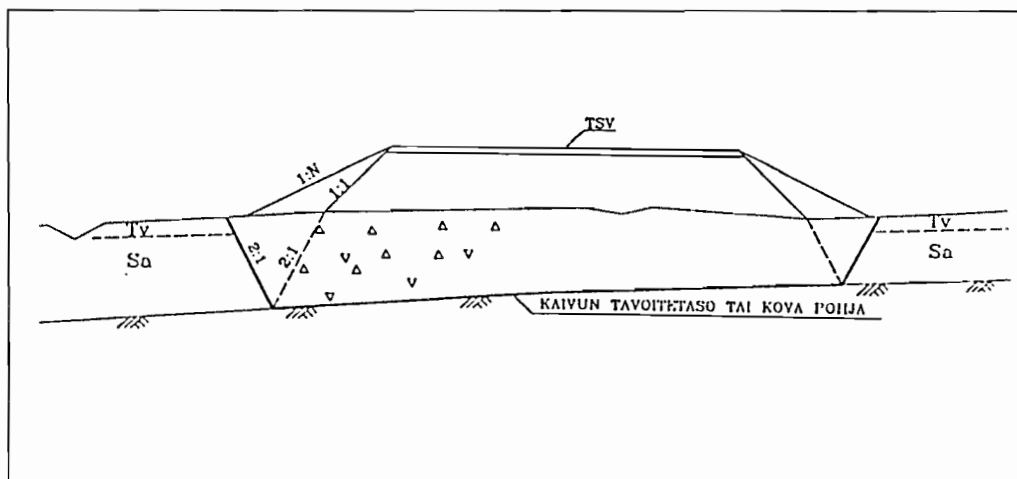
Massanvaihdon suunnitelmapiirustusten esitystapa on esitetty mm. Tielaitoksen julkaisussa "Pohjarakennussuunnitelmat", esitystapa TIEL 703435.

Massanvaihto kaivamalla

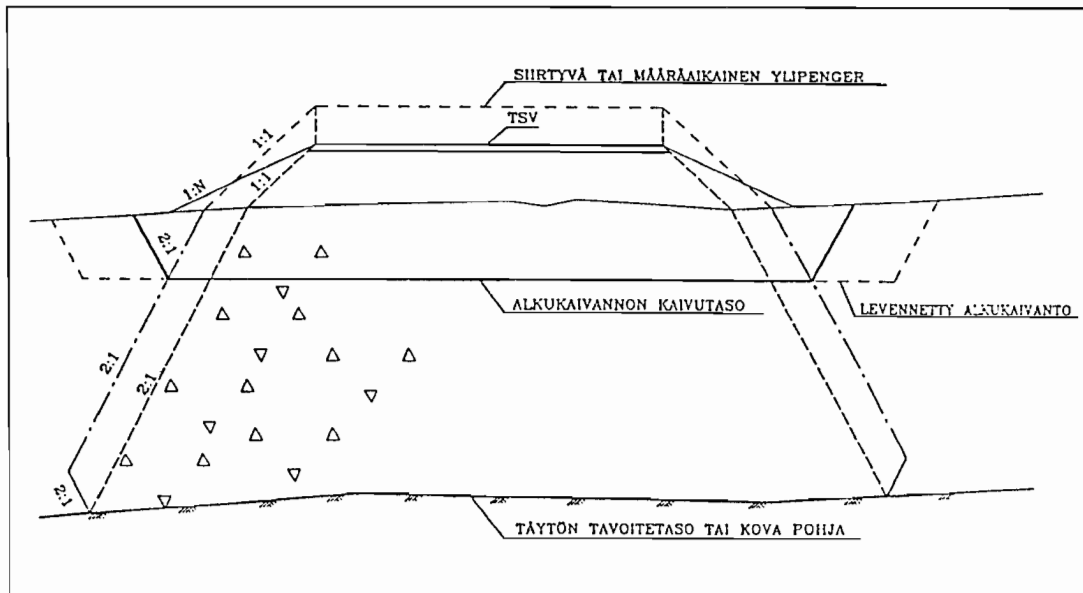
Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään massanvaihdon kaivuraja sekä mitat poikkileikkauksessa (kuva 7.1).

Massanvaihto pengertämällä

Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään alkukaivannon mitat ja pengertämällä tehtävän pohjatutkimusten avulla arvioidun massanvaihdon rajat. Mikäli kohteessa käytetään ylipengertä myös se esitetään suunnitelmissa (kuva 7.2).



Kuva 7.1: Massanvaihto kaivamalla. (Tielaitos 2/1993)



Kuva 7.2: Massanvaihto pengertämällä. (Tielaitos 2/1993)

7.2 RAKENTAMINEN

7.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Massanvaihto kaivamalla

Perusmaa poistetaan kaivamalla tai ruoppaamalla suunnitelmassa tai työn aikana määrättyyn syvyyteen.

Kaivannon täyttö on mahdollisuuksien mukaan tehtävä välittömästi kaivun jälkeen varsinkin erityisen pehmeän maan ollessa kyseessä. Yleisin täyttömateriaali on louhe. *Materiaalin valinnassa täytyy kuitenkin huomioida alueen jatkorakentamisen mahdollisuus.* Mikäli alueelle rakennettavat rakennukset vaativat paaluttamista, ei louhetta voida käyttää massanvaihdon materiaalina. Myös putkijohtojen rakentaminen louheella tehtyyn massanvaihtoon on ongelmallista.

Kaivumaiden läjittäminen ja mahdollinen jatkokäyttö on usein varsin ongelmallista. Viimevuosina on Helsingin kaupungilla alettu kiinnittää huomioita massanvaihdon yhteydessä muodostuvien ylijäämäsavien massastabilointiin ja täten ylijäämämaiden hyväksikäyttöön. (Karlstedt, Halkola 1993; Rekonen, Halkola 1994)

Massanvaihto pengertämällä

Pengertämällä tapahtuva massanvaihto aloitetaan alkukaivannon tekemisellä. Alkukaivannosta poistetaan pengerrystyötä haittaava kuivakuorikerros tai pui-
nen ja juurinen pintaturve. Alkukaivanto kannattaa toteuttaa mahdollisimman syvänä ja laajana, koska tällöin vähennetään ylös kohonneiden massojen määrää. Alkukaivannon syvyys on tavallisesti 2...3 m. (Tielaitos 2/1993)

Pohjaantäyttö suoritetaan korkeana päätypengerryksenä, jonka leveys on suunnitellun penkereen levyinen. Täyttömassojen tunkeutumista seurataan

työn aikana sekä näköhavainnoin että massamenekin tarkkailulla. Tarvittaessa tehostetaan ylösnousevien massojen kaivua tai korotetaan ylipengertä.

7.2.2 Olosuhdetekijät

Vuodenajoista talvi on edullisin ajankohta massanvaihtojen toteutukselle. Pakkasesta on hyötyä luiskien pysyvyyden sekä kaivu- ja läjitystyön kannalta. Kaivumassojen ympäristöä likaava vaikutus on vähäisempää. Veteliien läjitysmassojen likaava vaikutus on suurimmillaan syyssateilla. Kesällä kuljetusteille ja ympäristöön leviävät massat kuivuvat nopeasti, mutta pölyävät. (Tielaitos 2/1993)

Massanvaihto kaivamalla

Talvella tehtäessä on estettävä jäälautan muodostuminen kaivannon pohjalle myöhempien sulamispainumavaurioiden ehkäisemiseksi.

Massanvaihto pengertämällä

Talviolosuhteissa on estettävä jäälautan muodostuminen alkukaivantoon. Penger nousee herkästi jäälautan päälle ja seurauksena on sulamispainumia jään sulaessa hitaasti penkereen sisällä. Lisäksi kuivakuoren jäätyminen pakkasilla vaikeuttaa kaivutyötä. Roudan rikkominen pehmeän savikerroksen päällä voi olla hankalaa, koska irtaavat jäätyneet kamit pyrkivät sukeltamaan pehmeään saveen. Roudan rikkomiseen voidaan käyttää iskuvasarakalustoa. (Tielaitos 2/1993)

7.2.3 Kalusto- ja materiaalivaatimukset

Kaivutyö tehdään yleensä hydraulisella kuokkakauhalla varustetulla kaivinkoneella. Kuokkakauhalla on hyvä ulottuma syvyysuunnassa ja matalan penkereen päältä kaivamalla voidaan massanvaihto ulottaa jopa 6...7 m syvyyteen.

Veteen pengerrettäessä ja teoriassa kuivallakin maalla, mikäli vettä on saatavissa voidaan harkita myös imuruoppaajan käyttöä. Muita mahdollisia harvemmin käytettyjä koneita ovat rakennusnosturi-kourakauhayhdistelmä sekä laahakauha- eli vetokaivukone. (Tielaitos 2/1993)

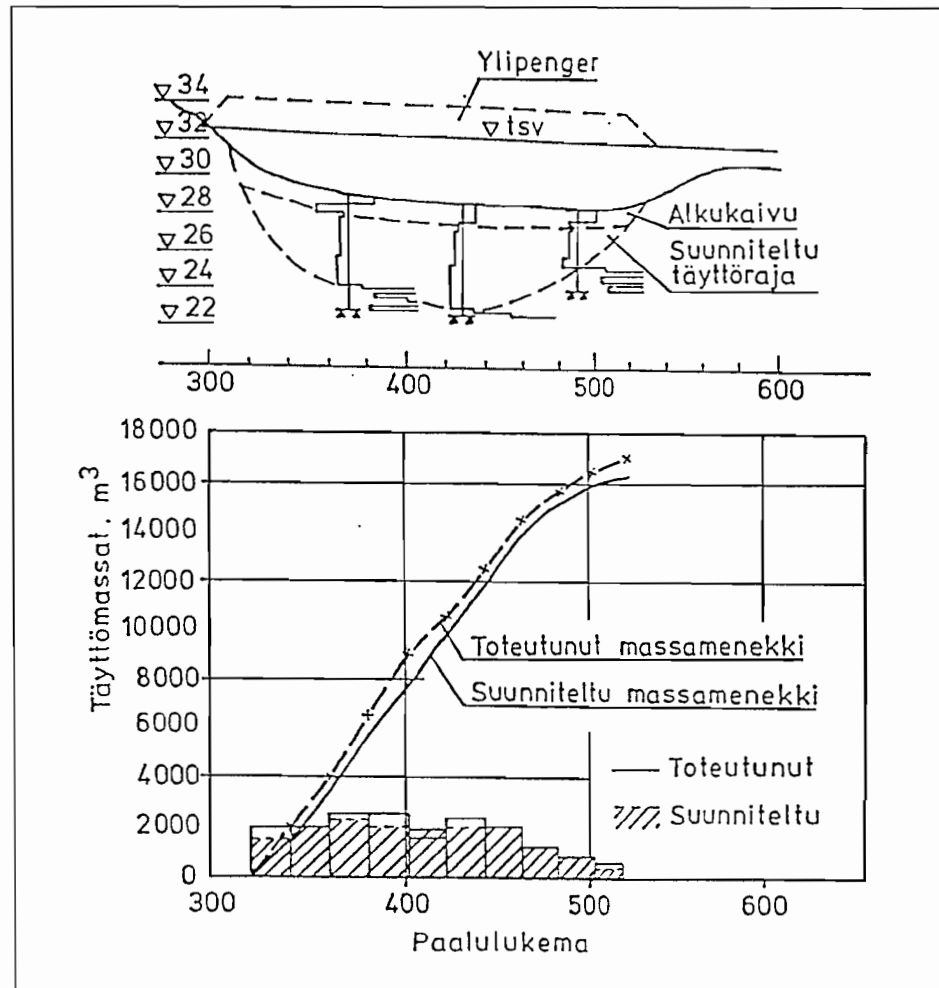
Yleisin täyttömateriaali on louhe helpon käsiteltävyytensä sekä perusmaata rikovan rakenteensa ansiosta. Myös pohjaantäytön materiaalivalinnassa täytyy huomioida alueelle rakennettavien rakennusten perustamistapa.

7.2.4 Laadunvarmistus

Materiaalimenekin tarkkailu on keskeinen massanvaihdon ja erityisesti pohjaantäytön seurannan menetelmä. Täyttömassojen menekkiä voidaan seurata kuvan 7.3 mukaisen massamenekikäyrän avulla. Toteutunut massamenekki mitataan esim. laskemalla ajoneuvokuormat tai seuraamalla leikkausmassojen

määrää. Toteutunutta massamenekkiä verrataan suunnitelman perusteella arvioituun menekkiin. (Tielaitos 2/1993)

Suunnitellussa ja toteutuneessa massamenekissä havaittujen erojen syyt on selvitettävä ja tarvittaessa muutettava työmenetelmää tai korjattava suunnitelmia.



Kuva 7.3: Massamenekin tarkkailu massamenekkikäyrällä. (Tielaitos 2/1993)

Täyttömateriaalin laatu tarkistetaan ennen penkereeseen ajoa. Työn aikana täytemassojen laatua seurataan jatkuvasti silmävaraisella tarkkailulla, sekä tarvittaessa laboratoriotutkimuksilla. (TVO-1988)

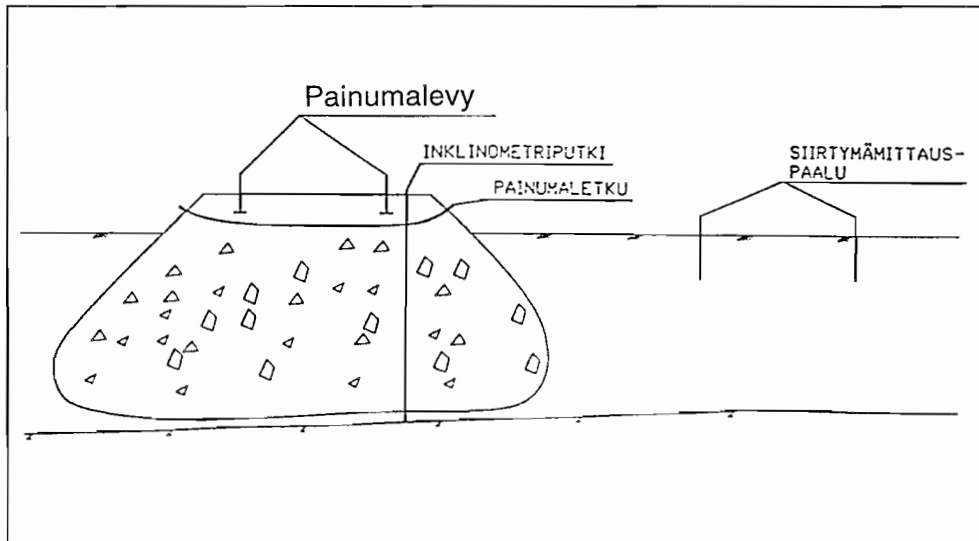
Mikäli täyttömassoina käytetään kiviainespohjaisia rakennuspurkujätteitä, on tarkkailun oltava erityisen tehokasta.

7.2.5

Jälkiseuranta

Massavaihtopenkereiden siirtymiä voidaan seurata esim. painumalevyjen, poikileikkausvaaitusten, sivusiirtymämittauksin tai painumaletkujen avulla. Massavaihdolle varatut painuma-ajat ovat kokemukseen perustuvia arvioita ja lopullisesti vaaditut painuma-ajat selviävät työaikaisten mittausten perusteella.

Kuvassa 7.4 on esitetty painumien ja siirtymien seuranta massanvaihtopenkereissä. (Tielaitos 2/1993)



Kuva 7.4: Painumien ja siirtymien seuranta massanvaihtopenkereissä. (Tielaitos 2/1993)

8 STABILOINTI

8.1 SUUNNITTELU

8.1.1 Laatuvaatimukset

Esirakentamisen yhteydessä stabiloinnin tavoitteena on luoda tuleville rakenteille kantava maapohja, jonka painumat ja vakavuus pysyvät sallituissa rajoissa. Erityisesti stabiloinnin avulla pyritään pienentämään piha-alueiden painumaa ja varmistamaan alueelle rakennettavan kunnallistekniikan rakentamismahdollisuus maanvaraisena.

8.1.2 Lähtötiedot

Pohjatutkimukset

Stabiloinnin suunnittelua varten tarvitaan pehmeiköistä tavanomaista tarkemmat pohjasuhtetiedot. Alla olevaan taulukkoon on kerätty suositeltavat pohjatutkimustoimenpiteet ja niillä tutkittavat asiat. (STO-91)

Taulukko 8.1: Suositeltavat pohjatutkimusmenetelmät syvästabilointikohteissa. (STO-91)

TUTKIMUSMENETELMÄ	MENETELMÄLLÄ SELVITETÄÄN
Paino- tai puristin-heijarikairaus CPTU	Pehmeiden maakerrosten paksuudet ja suhteelliset lujuusvaihtelut
Siipikairaus	Savikerroksen suljettu leikkauslujuus
Häiriintyneet näytteet • maalajimääritys • vesipitoisuus • humuspitoisuus • rikki- ja rautapitoisuus (S ja SO₄) • pH-arvo • plastisuusluku • rakeisuus	Maakerrosten ominaisuuksien ja rakenteen määrittäminen Arvio maakerrosten stabiloituvuudesta
Häiriintymättömät näytteet • irtotiheys • kokoonpuristuvuuskokeet • kartiokoe • puristuskoe	Savikerrosten kokoonpuristuvuus ominaisuudet Konsolidaatiotila Lujuusominaisuudet
Pohjavesiputki	Pohjaveden pinta ja sen vaihtelut

Stabiloituvuuskokeet

Stabiloituvuuskokeiden avulla selvitetään kulloisenkin stabiloitavan pohjamaan stabiloituvuus. Koekappaleiden valmistamista varten stabiloitavaa maakerrosta edustava näyte homogenisoidaan tasalaatuisiksi massaksi. Tämän jälkeen sekoitetaan sideaine homogenisoituun luonnollisessa vesipitoisuudessa olevaan maamassaan tasaisesti. Erityisen tärkeää on jakaa sideaine tasaisesti

sekoitettavaan maamassaan sekä sekoittaa sideaine huolellisesti. Seoksen homogeenisuus tarkastetaan pH-mittausten avulla. Kun sideaine on sekoitettu, valmistetaan koekappaleet näytesylintereihin. Jokaista koestusta varten tulisi valmistaa vähintään kolme rinnakkaista koekappaletta.

Optimisasiainemäärän määrittämiseksi stabiloituvuuskokeet tulisi tehdä vähintään kolmella sideainepitoisuudella ja eri valmistajien toimittamista sideaineista. Tyypillisiä sideaineita ovat kalkki-sementtipohjaiset sideaineet, mutta myös muut, lähinnä sivutuotepohjaiset sideaineet ovat nykyisin yleisiä. Kuitenkin stabiloituvuuskokeiden määrä riippuu kohteen laajuudesta.

Stabiloituvuuskokeet voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa voidaan tutkia stabiloituvuus nopeilla esim. 7 vrk:n kokeilla ja toisessa vaiheessa tutkitaan optimisasiaineen laatu ja määrä sekä lujittumisen riippuminen ajasta. Varsinainen sideaineen valinta tehdään 30 tai 90 vrk:n kokeiden jälkeen käytettävissä olevasta suunnittelu- ja rakentamisajasta riippuen.

Stabiloituvuustutkimukset tulisi tehdä mahdollisimman aikaisessa suunnittelu-vaiheessa. Suositeltavaa olisi tutkia stabiloituvuus jo maankäytön suunnittelu-vaiheessa. (STO-91)

8.1.3 Geotekninen mitoitus

Pilaristabilointi

Pilaristabiloinnissa käytetään termejä luja, puoliluja ja pehmeä pilari.

Lujilla pilareilla tarkoitetaan Helsingin kaupungin käsityksen mukaan pilareita, jotka on mitoitettu vastaanottamaan koko kuormitus ja niiden leikkauslujuus on suurempi kuin 300 kPa. Lujat pilarit mitoitetaan kuten paalut, jolloin oletetaan, että pilarit vastaanottavat kaiken kuormituksen, eikä sivuvastusta huomioida. Tällöin myös liikennekuorma ja muut hyötykuormat on laskettava mukaan kuormituksen.

Pehmeillä pilareilla tarkoitetaan pilareita, joiden suunniteltu leikkauslujuus on enintään 100 kPa ja joiden myötölujuuden oletetaan ylittyvän.

Puolilujien pilarien oletetaan käyttäytyvän yhteistoiminnassa maapohjan kanssa, mutta niiden myötölujuus ei ylity. Suomessa eniten käytetty pilareiden mitoitusmenetelmä on puolilujien pilareiden menetelmä, joten tässä kappaleessa keskitytään puolilujien pilareiden mitoitukseen.

Taulukossa 8.2 on esitetty pilarien määritelmät ja esimerkkejä sovelluskoh-teista.

Taulukko 8.2: Pilaristabilointityypit. Helsingin kaupungin alustava kanta.

Pilarityyppi	Lujat pilarit	Puolilujat pilarit	Pehmeät pilarit
Mitoitusmenetelmä ja määritelmä	Luja, paalumainen mitoitus, kaikki kuormitus pilarille, momenttikapasiteetti	Myötölujuus ei ylitä, toimivat yhteistoiminnassa maan kanssa	Myötäävät pilarit, toimivat yhteistoiminnassa maan kanssa
Ohjeellinen leikkauslujuusalue	≥ 300 kPa	100-300 kPa	≤ 100 kPa
Sovellusalue	Korkeahkot penkereet, sallitut painumat pieniä, ei tilaa vastapenkereille, mielellään kovaan pohjaan	Matalat tai matalahkot penkereet, painumat pieniä	Matalat - korkeat penkereet, stabiliteetti hoidetaan vastapenkerein, työnaikaisia painumia

Painuma

Myötäämättömien puolilujien pilareiden mitoituksessa voidaan käyttää Bromsin ja Bomanin esittämää menetelmää, joka perustuu tasaisen painuman periaatteeseen. Tällöin oletetaan sekä maapohjan että pilareiden painumat yhtä suuriksi. (Tielaitos 18/1997)

Vakavuus

Kun penkereen varmuuskerroin ilman pohjamaan stabilointia on vähintään 1,2 liukupintasortumaa vastaan, oletetaan pilareiden käyttäytyvän yhteistoiminnassa maapohjan kanssa siten, että lujuus pilareissa ja maapohjassa mobilisoituu samalla tavoin.

Penkereen varmuuskertoimen ollessa alle 1,2 pilareiden ja maan yhteistoimintaa ei voida käyttää hyväksi, vaan stabiloidun alueen lujuus muodostuu yksinomaan seinämäisesti sijoitettujen pilareiden lujuudesta.

Stabiloinnin yksityiskohtainen mitoittaminen on esitetty Tielaitoksen julkaisussa ”Syvästabiloinnin mitoitusohje” TIEL 3200465.

Holvaantumisen

Pilarointia suunniteltaessa tulisi pyrkiä säilyttämään kuivakuorikerros, koska se edesauttaa penkereen holvautumista. Kuivakuoren rooli korostuu erityisesti, mitä pehmeämpää pohjamaa on. Myös penkereen tiivistämisellä edistetään holvautumista. (Tielaitos 18/1997)

Paikalla tehtävä massastabilointi

Massastabiloidun maapohjan voidaan olettaa olevan yhtenäinen lineaarisesti kimmoplastinen maakerros. Massastabiloinnin sekoittamiseen ja sideaineen ta-

saiseen leviämiseen liittyvät epävarmuudet on otettava huomioon mitoituksessa.

Massastabiloidun kerroksen alle jäävien kokoonpuristuvien maakerrosten painumat lasketaan normaalina konsolidaatiopainumalaskelmana. Massastabiloinnin yhteydessä stabiloitu pohjamaa "tiivistetään" esikuormituspenkereellä pian sekoittamisen jälkeen. Näin maapohja tiivistyy ja lujittuminen paranee. Erityisen tärkeää esikuormitus on turpeen stabiloinnin yhteydessä. Massastabilointi on vielä melko uusi pohjanvahvistusmenetelmä, täten sen mitoitus ja valmistusmenetelmät kaipaavat vielä tutkimus- ja kehitystyötä. (Tielaitos 18/1997)

Massastabiloinnin suunnittelussa täytyy huomioida kuivakuorikerros. Kaikki nykyiset massastabilointilaitteet eivät pysty sekoittamaan paksua ja kovaa kuivakuorikerrosta vaan se vaikeuttaa stabilointityötä huomattavasti. Täten, mikäli alueella on kova kuivakuorikerros, joudutaan se mahdollisesti poistamaan ennen stabilointia. Suunnittelussa huomioitavia asioita ovat myös talviolosuhteet. Kuivakuoren poistamisen jälkeen stabiloitava kerros on altis jäätymiselle, joka myös vaikeuttaa työtä.

8.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Stabiloinnin yhteydessä on erikoista huomioita kiinnitettävä sideaineen leviämisen ehkäisemiseen. Tämän vuoksi esim. pilarien teko lopetetaan yleensä vähintään 0,25 m ennen maan pintaa.

8.1.5 Kustannustarkastelut

Pilaroinnin hinta riippuu kohteen suuruudesta ja käytetystä pilarihalkaisijasta. Tämän päivän markkinatilanteessa hinta vaihtelee noin 30...70 mk/m. Yleisimmin käytetyn pilarin $\phi = 600$ mm, hinta on noin 30...45 mk/m. Sideainekustannusten osuus kokonaiskustannuksista on noin 20...40 %. Liitteessä 4 on esimerkkilaskelma pilaristabiloinnin kustannuksista.

Massastabiloinnin kustannuksiin vaikuttaa voimakkaasti sideaineen menekki ja stabiloitavan kerroksen paksuus sekä maalaji. Turvetta stabiloitaessa sideainemenekki on huomattavasti suurempi kuin savipitoisia maapohjia stabiloitaessa. Massastabiloinnin kustannukset voidaan arvioida noin 50...200 mk/m³. Kustannukset jakautuvat sideaineen ja työn välillä likipitään puoliksi. Liitteessä 3 on suoritettu esimerkkilaskelma massastabiloinnin kustannuksista.

Helsingin kaupungin suorittamien syvästabilointikohteiden kustannukset ovat vaihdelleet noin 160...500 mk/m².

8.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

Pilaristabilointi

Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään stabiloitavan alueen nurkkapisteiden koordinaatit, stabiloinnin pilariväli sekä käytettävä pilariasetelma. Tarvittaessa voi-

daan esittää pilarikohtaiset koordinaatit. Lisäksi esitetään leikkauskuvissa pilaroinnin alapään tavoitetaso.

Työselityksessä esitetään lisäksi mm: käytettävä sideaine, sideainemäärät (kg/m) ja sallitut poikkeamat sekä kaltevuudet toleransseineen. Myös laadunvalvontaan kuuluvat asiat esitetään työselityksessä

Paikalla tehtävä massastabilointi

Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään stabiloitavan alueen koordinaatit ja stabiloinnin ulottuvuus maanpinnasta. Työselityksessä esitetään stabiloinnin suoritustajajärjestys ja mahdollisesti käytettävät työnaikaiset arinarakenteet. Lisäksi työselityksessä mainitaan käytettävä sideaine ja sideainemäärä (kg/m³) sekä stabiloinnin päälle tulevat mahdolliset vahvisteet ja käytettävä tiivistyspenger sekä laadunvalvontaan liittyvät asiat.

8.2 RAKENTAMINEN

8.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Pilaristabilointi

Stabilointityö aloitetaan pilarikentän merkitsemisellä maastoon. Tämän jälkeen mitataan paikoilleen yksittäisten pilareiden paikat. Pilaripaikat merkitään pilarin keskipisteeseen tulevalla kepillä.

Stabilointityön päätyttyä stabiloitu alue rauhoitetaan kaikelta liikkumiselta ja kuormitukselta, jotta stabiloitumisprosessi saisi rauhassa kehittyä. Valvontakairauksia suoritetaan alueella aikaisintaan kahden viikon kuluttua ja aluetta saa alkaa kuormittaa aikaisintaan 30 vrk:n kuluttua ellei suunnitelmissa toisin määrätä.

Mikäli valvontakairauksilla ei saavuteta suunnitelmissa vaadittua lujuustasoa, täytyy tapauskohtaisesti harkita uusia pilareita, keventeitä tai mahdollisia geovahvisteita stabiloidulle alueelle.

Paikalla tehtävä massastabilointi

Massastabilointimenetelmässä pehmeään saveen, turpeeseen tai liejuun sekoitetaan sideainetta kaivinkoneeseen liitettyllä erityisellä sekoitinlaitteistolla. Sekoitustyö tapahtuu lamelleittain pysty- ja vaakasuunnassa, jolloin maahan syntyy sideaineen vaikutuksesta tasaisesti lujittunut laattamainen vyöhyke.

Massastabilointityö aloitetaan pintamaan poistamisella. Tämän jälkeen poistetaan stabilointia haittaava mahdollinen kova kuivakuorikerros. Mikäli kuivakuori on ohut ja pehmeä voidaan stabilointia yrittää siten, että myös kuivakuorikerros sekoitetaan pehmeän saven joukkoon. Mahdollisesti eri sideaineilla ja sideainemäärillä stabiloitavat lohkot merkitään maastoon. Stabilointityö pyritään suorittamaan siten, että juuri stabiloidulla vyöhykkeellä ei tarvitse liikkua. (Rajala 1994)

Massastabilointitekniikalla voidaan korvata perinteinen massanvaihto, jossa pehmeä maakerros vaihdetaan paremmin kantavaan kiviainekseen. Uutta teknologiaa hyväksikäyttämällä voidaan vähentää merkittävästi rakennuskohteessa tarvittavien luonnonkiviainesten määrää sekä minimoida kohteessa syntyvien ylijäämämassojen määrää. Kiviainestarpeen vähentyessä säästetään sora- ja kallioalueita ja ylijäämämassojen määrää pienentämällä vähennetään maankaatopaikkojen kuormitusta. Myös kiviainesten sekä vetelien läjitysmassojen pitkistä kuljetusmatkoista johtuvat liikenne- ja likaamishaitat jäävät pois.

8.2.2 Olosuhdetekijät

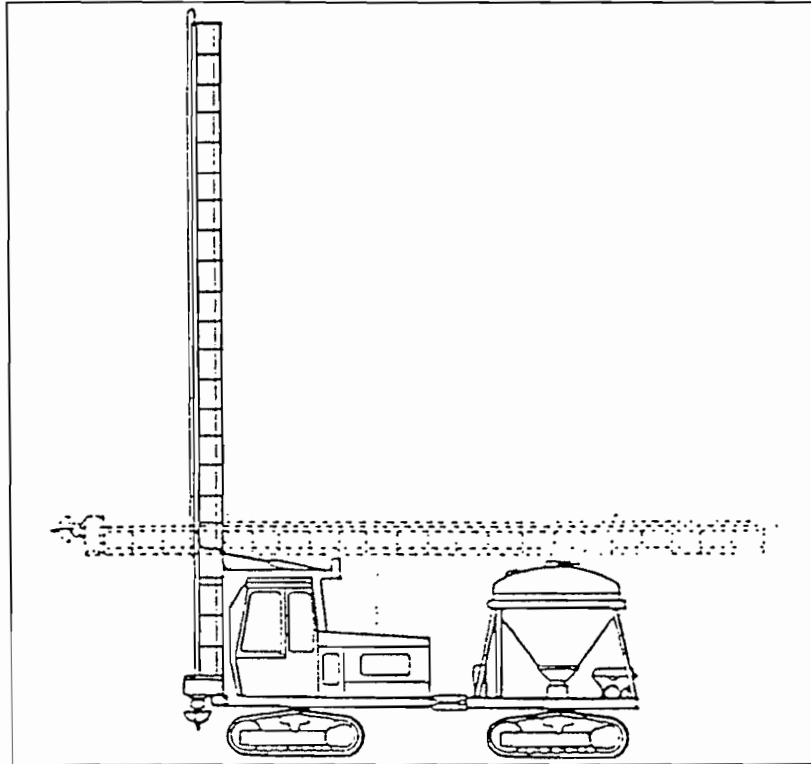
Jotta stabiloituvuusreaktiot käynnistyisivät maapohjassa, tarvitaan reaktioon vapaata vettä. Täten jäänyt pintakerros ei stabiloidu. Toisaalta talvi on erittäin pehmeiden maapohjien stabilointiin hyvää aikaa, koska jäänyt pintakerros helpottaa stabilointikoneen kulkua. Tällöin ei koneen kulkua helpottamaan tarvitse rakentaa välttämättä mitään erikoisjärjestelyjä. Erikoisesti talvi helpottaa pilaristabiloinnin tekoa. Massastabiloinnissa talvi saattaa vaikeuttaa stabiloinnin sekoitustyötä.

Sulalla maapohjalla liikuttaessa voidaan stabilointikoneen kulkua helpottamaan joutua rakentamaan murskearina, telarakenteita yms. Tällaisia 'erikoisratkaisuja' suunniteltaessa täytyy huomioida stabilointikoneen pintarakenteen läpäisykyky.

8.2.3 Kalusto- ja materiaalivaatimukset

Stabilointityö suoritetaan erikoisesti stabilointiin suunnitelluilla laitteilla. Pilaristabilointikone on tyypillisesti hyvin paljon paalutuskonetta muistuttava laite. Koneessa on yleensä säiliö, josta sideaineen syöttö tapahtuu. Kuvassa 8.3 esitetään pilaristabilointilaitteisto.

Paikalla tehtävän massastabiloinnin sekoitinlaitteisto on kiinnitetty normaaliin kaivinkoneeseen. Sideaine on erillisessä säiliössä, josta syöttö tapahtuu letkujen avulla.



Kuva 8.3: Pilaristabilointilaitteisto Linden Alimak LPS4. (STO-91)

8.2.4 Työn suorittamisen dokumentointi

Stabilointityöstä on pidettävä pöytäkirjaa, josta on ilmentävä mm. seuraavat asiat: (STO-91)

- työn tekijä
- päivämäärä ja sää
- pilareiden työsuunnitelman mukainen numerointi
- pilareiden ylä- ja alapään tasot
- pilarien sijainti jälkimittausten perusteella
- havainnot pilarin teossa ilmenneistä häiriöistä ja poikkeamista

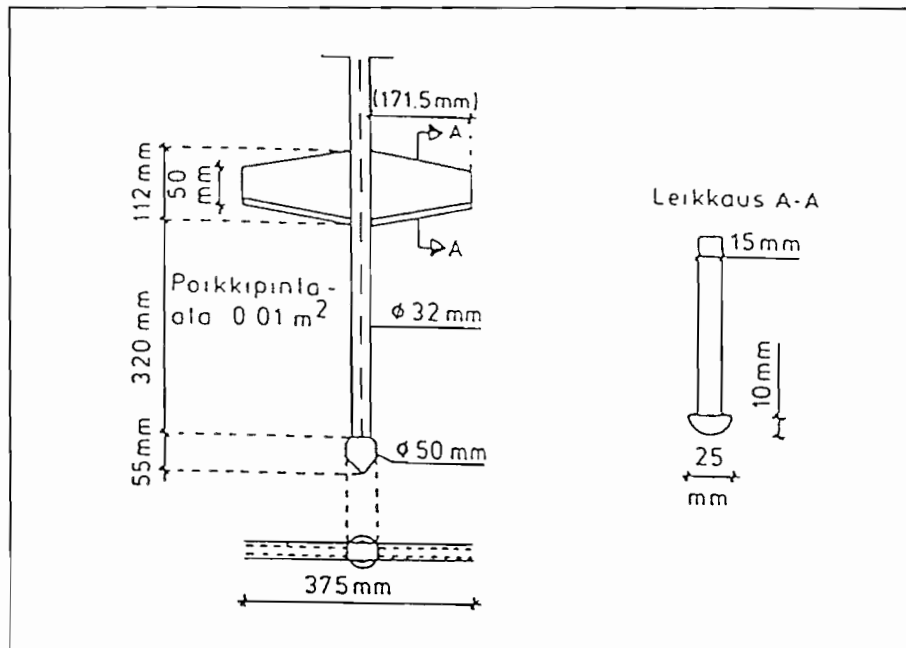
8.2.5 Laadunvarmistus

Stabilointityön laadunvarmistus työn jälkeen tehdään valvontakairauksilla. Kairauksilla tarkistetaan pilarin lujittuminen ja lujuusvaihtelut koko pituudelta. Syvästabilointipilarin laatua tutkitaan pilarikairalla ja pilarisiipikairalla (pehmeät pilarit) tai CPT- tai puristin-heijarikairalla (lujat pilarit). Lisäksi pilarista voidaan ottaa näytteitä.

Laadunvarmistuskairaukset tehdään yleensä 30-90 vrk pilarien teon jälkeen. Tutkittavat pilarit valitaan satunnaisesti siten, että ne kattavat eri osa-alueet. Tutkittavien pilareiden lukumäärä on yleensä 1-2 % kokonaispilarimäärästä kuitenkin vähintään 5 kpl (pilarikaira/pilarisiipikaira) tai 10 kpl (CPT/puristin-heijarikaira). Näytteenoton tarve harkitaan tapauskohtaisesti. Kuvassa 8.4 esitetään 2-siipisen pilarikairan periaatekuva.

Suuremmissa kohteissa suoritetaan ennen varsinaisen stabilointityön aloittamista koepilaroinnit. Koepilarointikenttä valitaan varsinaiselta stabilointialueelta, jolloin koepilarit jäävät osaksi lopullista rakennetta. Koepilarointi on suositeltavaa tehdä useita kuukausia ennen rakentamista pilareiden lujittumisajan takia.

Lisäksi laatua seurataan tarkkailemalla sideaineen laatua ja menekkiä sekä sekoitustyötä. Sekoitustyössä on tärkeää seurata sekoittimen nousu- ja kierrosnopeutta. Pilareiden lämpötilan seuraamisella voidaan myös varmistua stabiloituvuusreaktioiden käynnistymisestä. Maapohjan lämpötila nousee stabiloitumisen käynnistyessä.



Kuva 8.4: 2-siipinen pilarikaira. (STO-91)

8.2.6

Jälkiseuranta

Syvästabilointirakenteista tulisi seurata erityisesti kokoonpuristumisen ja lujuuden kehitystä. Painumisen seuranta on yksinkertaista ja helppoa toteuttaa joka kohteessa. Painumaseurantaa voidaan toteuttaa joko rakenteeseen suoraan tai maahan asennetuista painumamittalaitteista. (STO-91)

Vaativissa rakenteissa, joissa stabiloinnin päätarkoitus on stabiliteetin parantaminen, ovat sivusiirtymä- tai inklinometrimittaukset perusteltuja.

Lujuuden seuranta edellyttää pääsyä pilareihin rakenteen käytön aikana. Yleensä tämä ei onnistu kuin rakenteen ulkopuolisista pilareista, joiden päältä on rakenne poistettu.

9 PAALUTTAMINEN

9.1 SUUNNITTELU

9.1.1 Laatuvaatimukset

Paalutusta esirakentamismenetelmänä käytettäessä luodaan tuleville rakenteille painumaton pohja. Paalutus on varsin 'järeä' esirakentamismenetelmä ja täten sen käyttö rajautuu kohteisiin, joissa vaaditaan painumatonta rakennuspohjaa. Helsingin alueella paalutusta puhtaassa esirakentamismielessä on käytetty mm. Pikku-Huopalahdessa.

9.1.2 Lähtötiedot

Paalutusta varten tarvittavien lähtötietojen määrä vaihtelee käytetystä paalutyypistä riippuen:

Tukipaaluja käytettäessä kairaukset ulotetaan kalliopintaan tai kiinteään maakerrokseen ja selvitetään sekä läpäistävien maakerrosten että pohjakerrosten pääpiirteinen rakenne. Tukipaalutusta suunniteltaessa käytetyimmät kairaukset ovat: (Tielaitos 21/1993)

- heijari- ja
- porakonekairaus

Kitkapaaluja käytettäessä selvitetään maakerrosten väliset rajat ja kerrosten ominaisuudet sekä paaluilla läpäistävien että kitkakerroksina suunniteltujen maakerrosten osalta. Tutkimukset tulee ulottaa kantavaan pohjaan tai kallioon asti paalujen tavoitetason alapuolella mahdollisesti olevien heikompien maakerrosten selvittämiseksi. Paaluilla läpäistävien kerrosten osalta suoritetaan:

- paino- tai puristinkairauksia
- siipikairauksia
- häiriintymättömiä näytteitä.

Kitkakerrokset tutkitaan heijarikairauksilla sekä ottamalla häiriintyneitä näytteitä. (Tielaitos 21/1993)

Negatiivisen vaippahankauksen huomioiminen paalutusta suunniteltaessa on tärkeä paalujen mitoitukseen liittyvä seikka. Negatiivisen vaippahankauksen määrittäminen vaatii maaperän leikkauslujuuden määrittämistä siipikairalla.

9.1.3 Geotekninen mitoitus

Geotekninen kantavuus

Paalujen geotekninen kantavuus riippuu käytetystä paalutyypistä. Teräsbetoni-paaluja käytettäessä tukipaalun geotekninen kantavuus määräytyy seuraavasti:

Yhtenäinen pengerlaatta:

- paalutusluokka II, enintään 7 MPa
- paalutusluokka IB, enintään 9 MPa

Paaluhattut:

- paalutusluokka III, enintään 7 MPa
- paalutusluokka II, enintään 9 MPa

Näiden lisäksi on tb-paalun kantavuutta määritettäessä otettava huomioon pohjasuhteiden vaikutus, paalun rakenteellinen kantavuus, sekä lyhyiden paalujen aiheuttama kantavuuden muutos. (Tielaitos 21/1993)

Kitkapaalun geotekninen kantavuus määritetään tapauskohtaisesti paikalliset olosuhteet huomioonottaen lyöntipaalutusohjeen LPO-87 kohtaa 3.43 soveltaen. Geotekninen kantavuus sekä lyöntiohjeet tarkistetaan pääsääntöisesti rakennustyön alussa koepaalutuksin ja dynaamisin koekuormituksin. (Tielaitos 21/1993; LPO-87)

Routa

Paaluhattujen tai pengerlaatan korkeustaso määritetään siten, ettei maapohja hattujen alla pääse routimaan. Mitoitusvyvyys, joka määritetään syvyytenä maanpinnasta leikkauspohjaan, määritetään kerran 50 vuodessa toistuvan pakkasmäärän mukaan. (Tielaitos 21/1993)

Muuta huomioitavaa

Pengerpaalutusta suunniteltaessa täytyy myös seuraaviin paalujen mitoituksiin liittyviin seikkoihin kiinnittää huomioita:

- sivukuorma
- negatiivinen vaippahankaus

9.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Paalutustyö aiheuttaa ympäristön kannalta monia huomioitavia asioita:

Mahdollisen sortumavaaran takia on savikkorinteissä tehtävät tutkimukset ja paalutukset ja muut rakennustoimenpiteet suunniteltava, dokumentoitava ja esitettävä huolellisesti ja täsmällisesti. (Tielaitos 21/1993)

Mahdollinen pohjavedenpinnan lasku aiheuttaa maan painumista ja aiheuttaa paaluille ylimääräisiä rasituksia. Paalutustyö tulisi suunnitella siten, että mahdollisia lyhytaikaisia tilanteita lukuunottamatta pohjavedenpinnan laskua ei tule tapahtumaan. (Tielaitos 21/1993)

Paalujen lyönti aiheuttaa maanpinnan nousua ja sivusiirtymiä paalun vieressä sekä maan painumista enintään paalun pituuden levyisellä alueella. (Tielaitos 21/1993)

Paalutustyön aiheuttaa ympäristöönsä tärinää ja melua. Täten vaurioherkässä ympäristössä tulee tehdä koepaalutuksia sekä valvoa tärinä- ja melutasoa.

9.1.5 Kustannustarkastelut

Pengerpaalutuksen kustannuksiin vaikuttaa käytetty paalutyyppe, paalun pituus sekä pengerlaatan tai paaluhatun aiheuttamat kustannukset. Teräsbetonipaalun hinta vaihtelee noin 90...250 mk/m riippuen paalun poikkipinta-alasta. Paalulaatan hinta on noin 400...600 mk/m² ja paaluhatun puolestaan 500...1300 mk/kpl riippuen hatun koosta (Tielaitos 23/1993). Liitteessä 5 on esimerkkilaskelma pengerpaalutuksen kustannuksista.

Helsingin kaupungin Pikku-Huopalahteen tekemän pengerpaalutuksen kustannuksiksi muodostui 960 mk/m².

9.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

Geoteknisissä suunnitelma-asiakirjoissa esitetään yleensä paalutettavan alueen koordinaatit sekä paalujen tavoitetasot. Lisäksi suunnitelmissa annetaan paalujen sallittu geotekninen kantavuus.

9.2 RAKENTAMINEN

9.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Pengerpaalut lyödään tavallisesti paalutuskoneen liikkeiden kannalta tarkoituksenmukaisessa järjestyksessä. Rinnealueilla lyöntijärjestys riippuu paikallisista olosuhteista. Rinnettä alaspäin siirtyminen on turvallisempaa, mikäli on epäiltävissä sortuman mahdollisuutta. Suojeltavien ja varottavien rakenteiden kohdalla paalutus aloitetaan ko. kohteiden vierestä etenemällä pois päin. (Tielaitos 21/1993)

Työalustan tulee paalutusta varten olla sellainen, että työkoneet voivat siinä työturvallisesti liikkua. Etelä- ja Lounais-Suomen savikoilla työalusta tehdään tavallisesti seuraavasti:

- leikkauspohjalle asennetaan suodatinkangas
- suodatinkankaan päälle levitetään mursketta 0,3...0,5 m
- erityisen vaativissa kohteissa voidaan murskekerroksen alaosan sijoittaa lujiteverkko- tai kangas

9.2.2 Olosuhdetekijät

Paalutustyötä voidaan tehdä myös talvella. Mikäli on epäiltävissä paalun rikkoutumisvaara, roudan läpäisy tehdään poikkileikkaukseltaan paalua suurempaa, sopivasti muotoiltua teräspaalua käyttäen. (Tielaitos 21/1993)

9.2.3 Kalusto- ja materiaalivaatimukset

Paalutuskaluston tulee olla rakenteeltaan ja varusteiltaan sellainen, että paalu voidaan vaurioitumatta lyödä suunniteltuun paikkaan ja kaltevuuteen sekä kantavuuden kannalta riittävään syvyyteen ja tiukkuuteen. Toimintatavan perusteella lyöntikalusto jaetaan kolmeen pääryhmään:

- hidasiskuiset juntat, iskuluku max. 60 iskua/min
- nopeaiskuiset juntat, iskuluku max. 100...300 iskua/min
- täryjuntat, värähdysluku 1000...3000 värähdystä/min

Suurimman ryhmän muodostavat hidasiskuiset juntat ja niistä yleisin on pudotusjärkäleellä varustettu paalutuskone. Peruskoneena on yleensä kaivinkoneen runko. Uudemmat koneet ovat täyshydraulisia. (Tielaitos 21/1993)

Perinteisten teräsbetonipaalujen rinnalle on viimevuosina nousseet myös teräsvalmisteiset paalut.

9.2.4 Työn suorittamisen dokumentointi

Paalutustyöstä on pidettävä pöytäkirjaa, johon merkitään mm. työmaa ja kohde, paalun nro, aine, mitat, kärki, jatkos ja paaluelementtien pituus, paalutuskone ja järkäleen massa. Pöytäkirjaan on merkittävä myös poikkeamat piirustuksista sekä muut paalutustyön yhteydessä esille tulleet asiat. (LPO-87)

9.2.5 Laadunvarmistus

Paalun kantavuutta ja toimintatapaa sekä ehjyyttä selvitetään ja varmistetaan tavallisesti dynaamisilla kantavuusmittauksilla. Tarkastusputkilla varustetuista paaluista voidaan paalun ehjyyttä ja käyristymistä tutkia joko terästangolla luotaamalla tai inklinometrimittauksella. (Tielaitos 21/1993)

Paalujen sijaintia, nousua ja kallistumista voidaan mitata helpoimmin takymetrillä. Paalun nousun mittaukseen voidaan käyttää myös vaa'ituskonetta ja sivusiirtymän mittaukseen lanka-, laser-, tai teodoliittimittausta. (Tielaitos 21/1993)

9.2.6 Jälkiseuranta

Paalutetun rakennelman jälkiseurantaa voidaan tehdä tavanomaisilla siirtymä ja painumamittareilla.

10 GEOVAHVISTEET

10.1 SUUNNITTELU

10.1.1 Laatuvaatimukset

Geovahvistusten tarkoituksena on parantaa maapohjan kantavuutta ja/tai stabiiliteettia siten, että vahvistetun pohjamaan päälle on mahdollista rakentaa suunnitelmien mukaiset rakenteet. (Aalto, Slunga et al 1998)

10.1.2 Lähtötiedot

Geovahvistusrakenteen pohjatutkimukset tehdään kyseessä olevaa maarakennetta koskevien yleisesti hyväksyttyjen pohjatutkimusohjeiden mukaisesti. (Tanska, Slunga et al 1995)

Pohjatutkimuksilla selvitetään:

- rakennuspaikan maaperän kerrosrakenne, kerrosrajat ja tiiviys
- maakerrosten luokitusominaisuudet
- kovan pohjan sijainti
- maakerrosten geotekniset mitoitusarvot joko in-situ kokein tai laboratoriossa
- pohjavedenpinnan korkeusvaihtelut ja pohjamaan huokosvedenpaine

Vahvistetun rakenteen suunnittelun edellyttämiä erityisiä pohjasuhdetietoja ovat maan happamuus (pH) sekä maassa mahdollisesti olevat kemialliset aineet ja bakteerit. Myös kohteessa käytettyjen muiden pohjanvahvistusmenetelmien (esim. stabilointi) vaikutus maaperän ominaisuuksiin on otettava huomioon. (Tanska, Slunga et al 1995)

10.1.3 Geotekninen mitoitus

Vahvistemaarakenteen mitoitus perustuu vahvisteen, täyttömaan ja pohjamaan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin sekä rakennekomponenttien väliseen yhteistoimintaan. Mitoituksessa tarkastellaan vahvistetun rakenteen ulkoista ja sisäistä stabiiliteettia sekä pehmeikölle perustettavan penkereen tapauksessa muodonmuutoksia. (Tanska, Slunga et al 1995)

10.1.4 Ympäristön huomioon ottaminen

Vahvistemateriaalit joutuvat maarakenteissa alttiiksi ympäristötekijöille, jotka saattavat vaikuttaa haitallisesti vahvisteen ominaisuuksiin. Tämän vuoksi vahvistella täytyy olla riittävä kestävyys ainakin seuraavien ominaisuuksien osalta:

- kemiallinen kestävyys
- mikro-organismien ja bakteerien vastustuskyky
- terminen kestävyys (lämpö ja routa)
- auringonvalon kestävyys

10.1.5 Kustannustarkastelut

Geovahvistetun rakenteen kustannukset riippuvat käytetystä vahvisteesta sekä käyttökohteesta. Pehmeikölle rakennettavan penkereen vahvistamiseen voidaan käyttää joko synteettistä geoverkkoa tai kudottua vahvistekangasta. Tavanomaisimpien vahvisteiden hinnat vaihtelevat 10...30 mk/m².

10.1.6 Suunnitelma-asiakirjat

Suunnitelma-asiakirjat käsittävät tavallisesti asemapiirustuksen ja poikkileikkauksia, jotka tehdään yleensä kustakin työvaiheesta erikseen. Piirustuksissa esitetään selkeästi geovahvisteen mitat, levitys ja saumaussuunnat, geovahvisteen tyyppi- ja lujuusvaatimukset sekä keskeisimmät työtekniikkaan liittyvät asiat. (Aalto, Slunga et al 1998)

Työselityksessä kuvataan mm. geovahvistetun rakenteen kohdalla vallitsevat olosuhteet ja vahvistetun rakenteen työtekniikka.

Laskelmat ovat oleellinen osa suunnitelmaa etenkin silloin kun useampi geovahvistetyyppi tulee kyseeseen suunnitelmaratkaisuna.

10.2 RAKENTAMINEN

10.2.1 Työn suorittaminen ja työjärjestys

Ennen geovahvisteiden levittämistä suoritetaan tarvittaessa pohjan leikkaus ja tasaus. Tämän jälkeen vahvisteet levitetään suunnitelmassa esitettyjä mittoja ja asennussuuntia noudattaen. (Tanska, Slunga et al 1995)

Levityksessä huomioidaan taitosten ja ankkuroinnin vaatimat mitat sekä mittavarat, joita saatetaan tarvita suunniteltujen pengermittojen ylittyessä. Vahvisteen levitystyössä käytetään esimerkiksi rullapuomilla varustettua traktoria tai pyöräkuormaajaa.

Vahvistekankaat suositellaan suojattavaksi yleensä suojahiekalla välittömästi levittämisen ja saumaamisen jälkeen, ellei kyseessä ole ns. komposiitti- eli yhdistelmä rakenne. Geovahvistetta vaurioittavaa liikkumista suojaamattoman vahvisteen päällä tulee välttää samoin kuin vaurioittavia materiaaleja, kuten kiviä ja louhetta. (Tanska, Slunga et al 1995)

10.2.2 Olosuhdetekijät

Geovahvisteet eivät ole olosuhdeherkkiä. Talvirakentamisessa on kuitenkin muistettava, että vahviste voi jäätä rakenteeseen, joka estää sen mahdollisen myöhemmän liikuttamisen. (Tanska, Slunga et al 1995)

10.2.3 Työn suorittamisen dokumentointi

Geovahvisteilla rakennettava kohde on dokumentoitava tarkasti ja suunnitelmista poikkeavat ratkaisut on merkittävä esim. tarkepiirustuksiin. Laskelmien

säilyttäminen on tärkeää, jotta lopputulokseen oleellisesti vaikuttavien tekijöiden, kuten pohjasuhteiden, maaperän lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien sekä suoja- ja suodatinmateriaalien laskenta-arvot ovat käytettävissä tarvittaessa myös myöhemmin.

10.2.4 Laadunvarmistus

Vahvistemateriaaleille suoritetaan työmaalla vastaanottotarkastus, jossa tuotteet todetaan tilatun mukaiseksi. Laatu todetaan silmämääräisesti ja tarvittaessa punnitaan neliömetripaino.

Vahvisteiden lujuus- ja muodonmuutosarvojen tarkistusvetokokeet tehdään puolueettomassa asianmukaiset koestuslaitteet omaavassa laboratoriossa rakenteeseen toimitetuista eristä. (Tanska, Slunga et al 1995)

Jotta geovahvisteiden laatu pysyisi työmaalla hyvänä on vahvisteiden varastoinnissa ja käsittelyssä otettava huomioon seuraavat seikat: (Tanska, Slunga et al 1995)

- rullat on varastoitava irti maasta ja suojattava suojapeittein
- talviaikana on käytettävä sisävarastoa tai katoksellista ulkovaarastoa
- rullien noston on tapahduttava nostoliinoilla
- rullia ei saa pyörittää vedessä eikä kuraisessa maassa

10.2.5 Jälkiseuranta

Vahvisterakenteen jälkiseurannan pääasiallinen tehtävä on varmistaa rakenteen suunniteltu toiminta ja täsmentää suunnittelussa käytettyjä lähtötietoja rakenteiden todellisen käyttäytymisen perusteella. Jälkiseurantaan sisältyy vahvistemateriaalin pitkäaikaisominaisuuksien seuranta sekä rakenteen painumien ja siirtymien seuranta. (Tanska, Slunga et al 1995)

Painumaseuranta toteutetaan asentamalla rakenteeseen painumalevyjä. Painumamittaukset aloitetaan heti levyjen asentamisen jälkeen. Painumamittauksilla seurataan rakenteen painumisnopeutta, toteutuneita täyttötasoja ja korotustäyttöjen tarvetta. (Tanska, Slunga et al 1995)

MENETELMIEN YHTEISKÄYTTÖ

Esirakentamismenetelmien yhteiskäytöllä voidaan hyödyntää valittujen menetelmien hyviä ominaisuuksia siten, että kustannussäästö käytettäessä useampia menetelmiä on suurempi, kuin vain yhden menetelmän tapauksessa. Tyyppillisimmillään menetelmien yhteiskäyttö on kohteissa, joissa on syvä pehmeikkö ja taloudellisesti ei ole järkevää suorittaa esim. stabilointia tai massanvaihtoa koko pehmeikön syvyydelle. Keventeitä, vahvisteita ja ylipenkereitä käyttämällä voidaan pengerkuormaa keventää sekä painumia nopeuttaa siten, että penkereen alapuoliseen pehmeikköön tehtävää pohjanvahvistusta voidaan 'keventää'.

Massastabilointi + pilaristabilointi

Massa- ja pilaristabilointia voidaan käyttää yhdessä esirakentamismenetelmänä tapauksessa, jossa turve tai liejukerroksen alapuolella on pehmeä savikko. Massastabiloinnin käyttö rajoittuu 3...5 m paksun kerroksen stabilointiin, jonka alle tehdään pilarit ennen massastabilointia. Pintakerroksen massastabiloinnilla saadaan lisäksi kunnallistekniikalle homogeeninen pohja, jonka varaan on helppo rakentaa. Lisäksi massastabilointi varmistaa holvaantumista. Kuvassa 11.1 esitetään massa- ja pilaristabiloinnin yhteiskäyttö.

Syvästabilointi + keventeet

Stabilointia ja kevennystä voidaan käyttää esirakentamismenetelmänä myös yhdessä. Erityisesti näitä menetelmiä käytetään yhdessä korkeiden penkereiden ja paksujen täyttöjen yhteydessä. Käyttämällä keventeitä saadaan penkereestä aiheutuva kuorma normaalia rakennetta pienemmäksi. Tämä vaikuttaa suoraan pilaristabiloinnin pilariväliin, joka puolestaan tarkoittaa kustannussäästöä. Pilariväliä ei kuitenkaan voida kasvattaa rajattomasti, sillä penkereen holvautuminen on otettava huomioon. Keventeitä ja syvästabilointia käyttämällä voidaan mahdollisesti välttää kalliin pengerpaalutuksen käyttö. Kuvassa 11.2 esitetään syvästabiloinnin ja keventeen yhteiskäyttö.

Syvästabilointi + geovahvisteet

Geovahvisteita stabiloinnin yhteydessä käyttämällä voidaan stabiloinnin pilariväliä kasvattaa. Geovahvisteet ottavat vastaan pilareiden välissä olevien pengerosien painoa sekä auttavat penkereen holvautumista. Erikoisesti matalilla penkereillä voidaan vahvisteiden holvaantumista parantavaa vaikutusta käyttää hyväksi. Geovahvisteiden ja pilaroinnin yhteiskäyttäytymisestä ei ole vielä paljonkaan käytännön kokemusta, joten pilarivälin harventamista geovahviteen avulla täytyy harkita tapauskohtaisesti. Kuvassa 11.3 esitetään geovahviteen käyttöä stabiloidun pohjamaan kanssa.

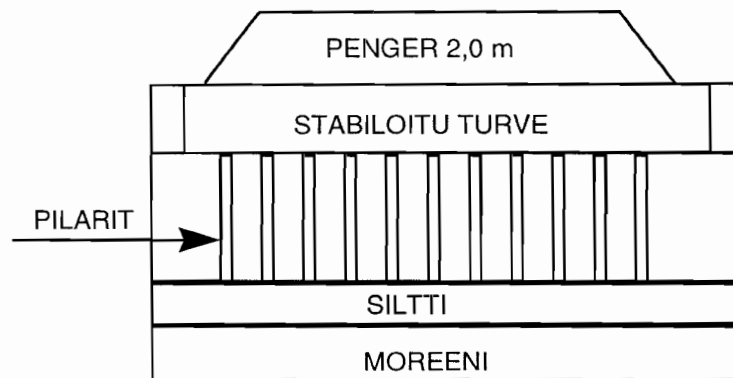
Paalutus + geovahvisteet

Paalujen varaan perustettujen penkereiden tukemiseen voidaan käyttää myös geovahvisteita. Geovahviste kannattaa paalujen välissä olevien pengerosien painoa ja parantaa penkereen reunaosien vakavuutta. Geovahviste ottaa vas-

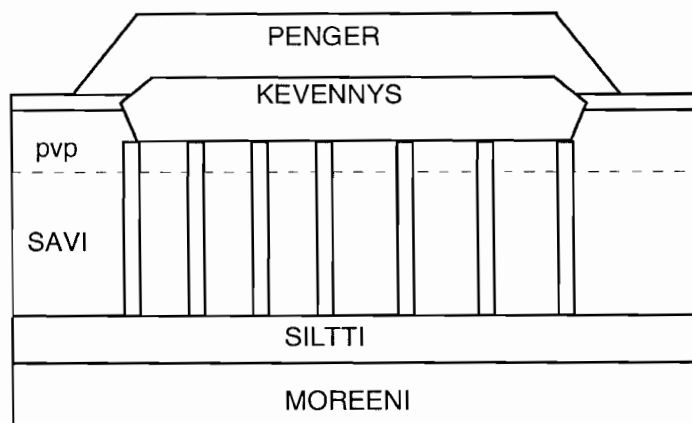
taan penkereen vaakasuoran maanpaineen, joten vinoja paaluja ei tarvita. Kuvassa 11.4 esitetään lujitteen käyttö hattupaalutuksen yhteydessä.

Massanvaihto + geovahvisteet

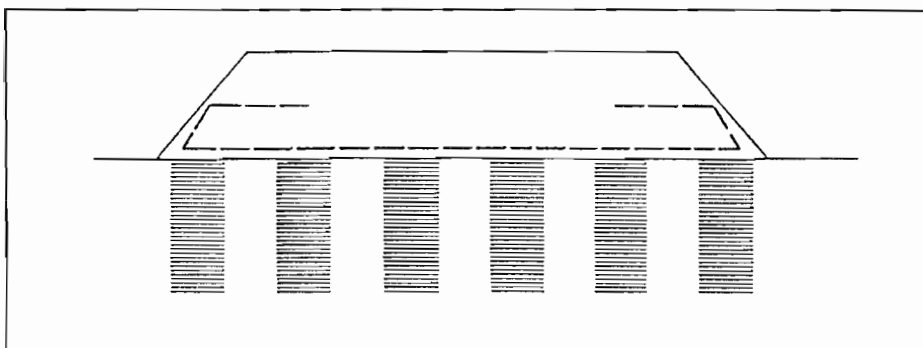
Mikäli pohjamaan kantavuus ei ole riittävä, voidaan massanvaihdon ja geovahvisteiden avulla kasvattaa maan geoteknistä kantavuutta. Massanvaihdoissa käytettävän maan täytyy olla huolellisesti tiivistettyä hiekkaa, soraa tai kiviä. Geovahvistetulle arinalle perustamista suositellaan toistaiseksi vain tilapäisille rakenteille ja vain silloin, kun olosuhteet ovat arinan käytölle sopivat. (Tanska, Slunga et al 1995)



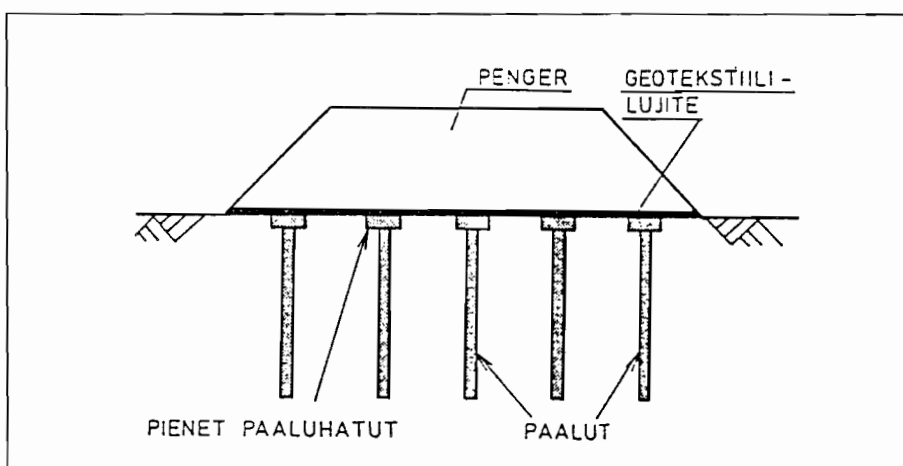
Kuva 11.1: Massa- ja pilaristabilointi.



Kuva 11.2: Syvästabilointi + kevennys.



Kuva 11.3: Geovahviste ja stabiloitu pohjamaa. (Tanska, Slunga et al 1995)



Kuva 11.4: Lujitteella vahvistettu hattupaalutus. (Tielaitos 21/1993)

12 SAASTUNEET MAAT

12.1 KUNNOSTUSPERUSTEET

Kemikaalien saastuttamien maa-alueiden aiheuttamien haittojen torjunnasta on viime vuosina tullut eräs keskeinen ympäristösuojelun ongelma. Kunnostuksen tarve kasvaa määräysten kiristymisen ja saastuneiden maa-alueiden paljastumisen myötä. Tyypillisimpiä maa-alueiden saastetyyppejä ovat metallit, liuottimet ja öljyt.

Vesi- ja ympäristöhallituksen Saastuneiden maa-alueiden selvitys ja kunnostus-projektissa (SAMASE) määritellään saastuneeksi maa-alueeksi sellainen maa-alue, jonka haitallisen aineen tai tekijän pitoisuus ylittää huomattavasti kyseessä olevan lähiympäristön luontaisen pitoisuuden ja aineen kokonaismäärä maaperässä on merkittävä tai saastuminen aiheuttaa merkittävää välitöntä tai välillistä vaaraa luonnolle, ympäristölle tai terveydelle. Tällaiseksi alueeksi luetaan myös rannalta vesistöön jatkuva saastunut alue. (Saastuneiden maiden kunnostamisen laatuopas 1996)

Vesi- ja ympäristöhallitus (nykyisin Suomen Ympäristökeskus) on määritellyt maa-alueiden saastuneisuuden arvioinnissa käytettävät pitoisuudet yli kahdeksadalle yksittäiselle kemikaalille tai yhdisteryhmälle. Pitoisuuksia on kaksi erilaista:

- *ohjearvo* ilmaisee haitta-aineiden sellaisen pitoisuuden, jota pienempiä pitoisuuksia pidetään ihmiselle ja ympäristölle vaarattomana eikä alueen maankäytölle tai massojen sijoittamiselle aseteta rajoituksia.
- *raja-arvo* ilmaisee haitta-aineen sellaisen pitoisuuden, jota korkeammat pitoisuudet edellyttävät maaperän kunnostustoimenpiteitä

Jos haitta-aineen pitoisuus on ohje- ja raja-arvon välissä, olisi mahdolliset ympäristövaikutukset selvitettävä.

Saastuneelle maaperälle annettujen ohjearvojen tarkoituksena on pääsääntöisesti toimia ainoastaan suuntaa-antavina kriteereinä riskien alustavassa arvioinnissa ja niiden hallinnassa. Saastuneista maa-alueista aiheutuvia riskejä voivat olla: (Jaana Sorvari 1998)

- terveysriskit
- ekologiset riskit
- taloudelliset riskit
- esteettiset ja psykologiset riskit
- muut sekundääriset riskit

Terveysriskien osalta pääpaino on ollut alustavasti kroonisten vaikutusten ja etenkin syöpäriskin arvioinnissa.

Ekologisessa riskinarvioinnissa on usein keskitytty pelkästään ekotoksisiin vaikutuksiin, muut etenkin yhteisö- ja ekosysteemitason vaikutukset ovat siten jääneet tarkastelun ulkopuolelle.

Taloudellisia riskejä aiheuttavat mahdolliset kunnostuksesta ja muista riskienhallintatoimista johtuvat kustannukset, rakenteiden vaurioitumisesta johtuva omaisuuden arvonalasku sekä rajoitukset maankäytössä. Omaisuudelle aiheutuneet riskit voivat olla myös esteettisiä. Lisäksi *esteettiset riskit* ovat kulttuuri- tai luontomaiseman tuhoutumisesta aiheutuvat menetykset ja esim. hajuhaittoista johtuvat viihtyisyyshaitat.

Psykologiset ja psykososiaaliset riskit ovat ns. välillisiä riskejä ja ne liittyvät ihmisten pelkoihin mahdollisista terveys- ja ympäristövaikutuksista, vaikutuksista alueen arvostukseen, yhteiskunnallisiin muutoksiin, jne.

Sekundäärisiä saastuneista alueista aiheutuvia *riskejä* voivat olla mm. suoto-, valuma- tai saastuneiden maiden käsittelyvesistä aiheutuvat riskit puhdistusjärjestelmille sekä maaperässä ilmenevät sortuma- ja painumariskit.

Saastuneiden alueiden riskinarvioinnissa käytetään apuna haitta-aineiden leviämistä ja ympäristökäyttämistä, altistusta ja vaikutusta kuvaavia fysikaalisia, matemaattisia ja käsitteellisiä malleja.

Saastuneiden maa-alueiden kartoittaminen on ensiarvoisen tärkeää ja jo esirakentamisvaiheessa täytyy olla tieto maa-alueen mahdollisesta saastumisesta. Saastuneisuus vaikuttaa maamassojen käsiteltävyyteen ja mahdolliseen jatkokäyttöön. Täten saastuneisuus vaikuttaa myös käytettävään esirakentamismenetelmään, mikäli alueelle on mahdollista rakentaa.

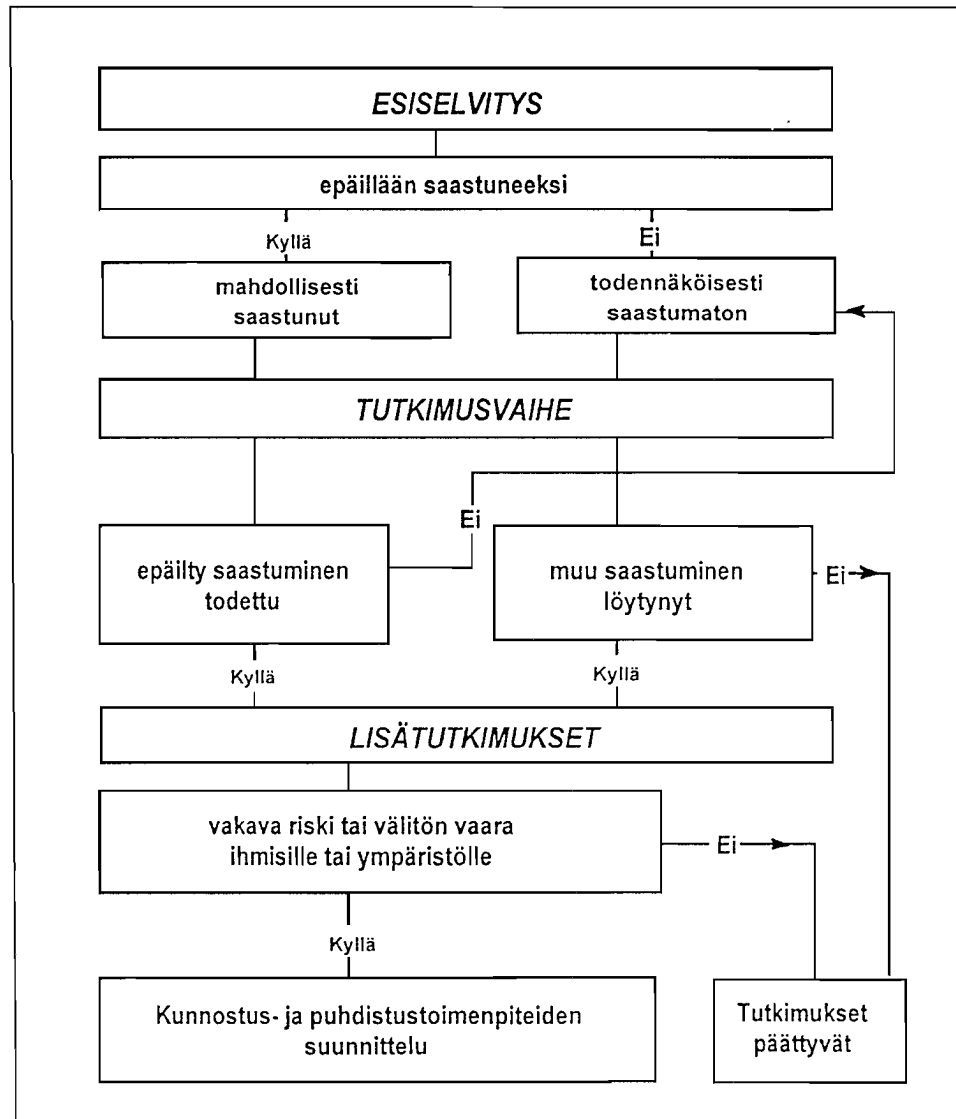
12.2

TUTKIMUSVAIHEET JA POHJATUTKIMUKSET

Saastuneiden maa-alueiden tutkimus on keskeinen tehtäväkenttä laajassa selvitys-, arviointi- ja kunnostustoiminnan kokonaisuudessa. Saastuneiden maa-alueiden riskienhallinnassa voidaan erottaa useita eri tutkimustyyppejä: (Assmuth, Strandgerg et al 1992)

- taustaselvityksellä hankitaan tietoa kohteen alustavaan arviointiin ja lähempään tutkimukseen. Taustaselvitykset keskittyvät kirjallisten dokumenttien, karttojen yms. käyttöön ja sisältävät yleensä kvalitatiivisia kenttähavaintoja.
- taustaselvityksiin kytkeytyy usein alustava kohdetutkimus, joka tähtää mahdollisen saastumisen havaitsemiseen. Kohdetutkimus toteutetaan karkeilla, kartoittavilla menetelmillä. Tällöin selvitetään jossain määrin myös mm. haitta-aineiden leviämisen vaikutusten kannalta tärkeitä kohteen ominaisuuksia. Tämä on yleisin kohdetutkimustyyppi.
- perusteellinen kohdetutkimus pyrkii saastuneisuuden ja sen aiheuttamien ympäristöriskien kattavaan ja yksityiskohtaiseen selvittämiseen. Se saattaa kytkeytyä kunnostustoimien edellyttämiin selvityksiin.

Saastuneiden maa-alueiden tutkimusvaiheet voidaan jakaa kuvan 12.1 mukaisesti.



Kuva 12.1: Saastuneen maa-alueen tutkimusvaiheet. (Mroueh, Järvinen et al 1996)

Esiselvityksessä määritetään, onko todennäköistä, että maaperä on voinut saastua. Tämä vaihe koostuu pääasiassa alueen toiminnallisen historian, maaperän ominaisuuksien ja hydrogeologian kartoittamisesta. Tämän jälkeen edetään tutkimusvaiheeseen, jossa näytteiden avulla selvitetään saastuneisuustilannetta. Tarvittaessa alueella tehdään lisätutkimuksia. (Mroueh, Järvinen et al 1996)

Esiselvitystä ja tutkimuksia seuraa riskien arviointi, jossa tunnistetaan haitta-aineiden aiheuttamat vaarat sekä määritetään niistä aiheutuvat riskit saastuneella alueella ja sen ympäristössä. Riskin arvioinnin yhteydessä muodostuu käsitys alueen kunnostamistoimenpiteiden tarpeellisuudesta.

Lika-aineiden ominaisuudet (olomuoto, kulkeutuminen ja leviäminen maaperässä) ja likaantumistapahtuman luonne vaikuttavat tutkimusmenetelmien valintaan taulukon 12.2 mukaisesti:

Taulukko 12.2: Erilaisiin lika-aineisiin soveltuva näytteenottotapa.
(Saastuneiden maiden kunnostamisen laatuopas 1996)

LIKA-AINEITA	NÄYTTEET
maahiukkasiin kiinnittyneinä	-maanäyte -pölynäyte
maa tai pohjaveteen liuenneina	-pintavesinäyte -pohjavesinäyte
kaasuna maaperän huokosissa	-huokosilmanäyte -kaasunäyte
eliöissä	-kasvinäytteet -eläinnäytteet -pieneliönäytteet
rakenteissa	-pintänäytteet (pyyhkäisynäytteet)
jätteissä	-jätenäytteet, lietenäytteet

Näytteiden tyyppiä ja näytteenottomenetelmiä valittaessa on ensiarvoisen tärkeää selvittää tutkittavan kohteen maaperäolosuhteet ja valita menetelmät, joilla saadaan mahdollisimman todenmukainen kuva tilanteesta. (Saastuneiden maiden kunnostamisen laatuopas 1996)

Näytteenotto saastuneilta maa-alueilta on moniulotteinen ja vaativa otantaongelma. Näytteenoton kohdentaminen, näytteenottopisteiden tiheys ym. alueelliset otantamenetelmät riippuvat tutkimuskohteista. (Assmuth, Strandgerg et al 1992)

Näytteenotto voidaan suorittaa yleisesti geotekniikassa käytetyin näytteenottomenetelmin, joskin on syytä muistaa, että saastuneen maan näytteenottoon sisältyy huomattavaa tarkkaavaisuutta. *Saastuneen maapohjan tutkiminen ja näytteenotto sekä näytteiden jatkokäsittely onkin siten erikoisesti saastuneisiin maihin perehtyneiden asiantuntijoiden tehtävä.*

Perinteisten geoteknisten tutkimusmenetelmien rinnalle on viimevuosina kohonneet geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Geofysiikan menetelmillä hankitaan tietoa maankamaran ominaisuuksista kuten kallioperän ruhjeista, maanpeitteen kerrosrakenteesta ja pohjavesiolosuhteista. Geofysikaalisten menetelmien soveltuvuuteen saastuneen maa-alueen tutkimuksiin vaikuttaa alueen ja tutkittavien aineiden ominaisuudet. Saastumistapauksissa geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä voidaan käyttää seuraaviin tarkoituksiin: (Mroueh, Järvinen et al 1996)

- maaperän rakenteen ja pohjavesiolosuhteiden tutkiminen
- näytteenoton ohjaus
- haitta-aineiden paikantaminen ja kulkeutumisen seuranta

12.3

KUNNOSTUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa esitetään saastuneiden maiden kunnostusmenetelmiä. Tarkoituksena on esittää lyhyesti tällä hetkellä olemassa olevat kunnostusmenetelmät. Lisätietoa kustakin menetelmästä löytyy kirjallisuudesta. (Mroueh, Järvinen et al 1996)

Massojen kaivuu ja varastointi

Maamassat on kaivettava ja varastoitava siten, että jatkokäsittely voidaan toteuttaa tavoitteiden mukaisesti. Tällöin on varmistettava, että eri tavoin käsiteltäviä massoja ei sekoiteta, että epäpuhtaudet eivät pääse leviämään ympäristöön ja että kaikki käsittelyä vaativat massat poistetaan kohteesta.

Kunnostamatta jättäminen

Saastuneiden maiden kunnostamatta jättäminen edellyttää, että riskinarvioinnin perusteella voidaan todeta, että saastumisesta ei nykyisissä olosuhteissa aiheudu välitöntä riskiä ympäristölle. Kunnostussuunnitelmassa on määritettävä tarkkailumenetelmät, toimet ympäristön suojaamiseksi ja kriteerit, joiden täytyessä kunnostustarve on arvioita uudelleen.

Kiinteytys

Kiinteytyksessä epäpuhtauksien liikkuvuutta rajataan sitomalla ne kiinteään matriisiin. Soveltuvuus kuhunkin kohteeseen on varmistettava esitutkimuksin ja sopivalla sijoituskohteen ja -menetelmän valinnalla. Tutkittavia ominaisuuksia ovat mm. epäpuhtauksien liukoisuus, puristuslujuus ja vedenläpäisevyys.

Kemiallinen stabilointi

Kemiallisessa stabiloinnissa epäpuhtaudet pyritään sitomaan kemiallisesti, ilman että matriisia kiinteytetään. Menetelmä soveltuu lähinnä eristettynä sijoitettavalle maa-ainekselle, jonka haitta-ainespitoisuudet ovat melko pieniä. Muita käyttöedellytyksiä ovat riittävän pieni haitta-aineiden liukoisuus sekä suotovesien keräily ja tarkkailu sijoituksen jälkeen.

Eristys

Eristyksellä pyritään estämään haitta-aineiden leviäminen rakentamalla tiiviitä seinämiä tai eristyskerroksia. Eristämistä voidaan käyttää sekä muiden kunnostusmenetelmien varmistamiseen että erillisenä kunnostuskeinona. Rakenteiden suunnittelu edellyttää sijoituskohteen ja saastuneen maamassan ominaisuuksien perusteellista tuntemista. Muita suunnittelun peruslähtökohtia ovat vaadittava vedenläpäisevyys ja eristepaksuus.

Märkäerotustekniikat

Märkäerotuksessa maa-aines pyritään jakamaan sijoituskelpoiseen, puhdistettuun jakeeseen ja epäpuhtaudet sisältävään puhdistusjäännökseen. Puhdistettavuuteen vaikuttavat maa-aineksen laatu sekä haitta-aineiden sitoutumista. Riittävän puhdistustuloksen saavuttamisen lisäksi syntyvien poistovirtojen määrien rajoittaminen ja asianmukainen käsittely on tärkeää.

Huokosilmatekniikka

Huokosilmatekniikalla poistetaan maaperästä haihtuvia yhdisteitä. Poistoilma on käsiteltävä epäpuhtauksien erottamiseksi. Tekniikan käyttö edellyttää maaperän ja sen sisältämien haitta-aineiden ominaisuuksien perusteellista tuntemusta. Useimmiten soveltuvuus on varmistettava pilot-kohtein. Lisäksi kohteessa on voitava hyväksyä in-situ käsittelyihin liittyvä puhdistustehokkuuden arvioinnin epävarmuus sekä suhteellisen pitkä käsittelyaika. Haitta-aineiden pitoisuuksia on seurattava myös käsittelyn jälkeen.

Terminen käsittely

Termiset käsittelyt voidaan jakaa alhaisemmissa lämpötiloissa toteutettavaan haitta-aineiden desorptioon maaperässä ja korkeammassa lämpötilassa toteutettavaan polttoon. Desorptiokelpoisuus arvioidaan haitta-aineiden höyrynpaineen ja kiehumispisteen sekä maa-aineksen ominaisuuksien perusteella. Poltto korkeissa lämpötiloissa soveltuu mm. erityisesti haitallisille orgaanisille yhdisteille. Kaikissa menetelmissä poistokaasut on käsiteltävä hyväksyttävälle tasolle. Lisäksi on seurattava puhdistustulosta.

Kompostointi

Kompostointi on Suomessa yleisimmin käytetty mikrobiologinen menetelmä. Puhdistustehoa voidaan parantaa suorittamalla mikrobiologinen käsittely erilaisissa reaktoreissa, jolloin käsittelyyn voidaan yhdistää myös muita menetelmiä. Myös in-situ-käsittelyt ovat mahdollisia. Mikrobiologisten käsittelyjen soveltuvuus on useimmiten varmistettava laboratoriotutkimuksin. Toteutuksen aikana menetelmän toimivuutta on seurattava säännöllisellä näytteenotolla. Myös mahdolliset hajoamis- ja reaktiotuotteet on tutkittava.

12.4

SAASTUNEET MAAT JA ESIRAKENTAMINEN

Saastuneiden maiden kunnostamista suoritettaessa täytyy kiinnittää huomiota myös alueelle mahdollisesti tehtävään esirakentamiseen. Mikäli saastuneiden maiden käsittelymenetelmänä on esim. massojen kaivuu ja varastointi, voidaan massanvaihdon yhteydessä tehdä myös tarvittavat esirakentamistoimenpiteet yhtäaikaan. Esimerkiksi keventeet ja alapuolisen pohjamaan stabiloinnit ja paa-lutukset on helppo tehdä, kun työtä haittaava pintakerros on poistettu. Tässä vaiheessa rakennettaessa ei myöhemmin enää tarvitse avata jo kerran auki ollutta kaivantoa.

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Esirakentamisen tarpeellisuus on kasvanut viime vuosina rakentamiseen soveltuvan rakennuspohjan vähenemisen myötä. Esimerkiksi Helsingissä on esirakennettu 1980-luvun alusta alkaen huonopohjaisia maa-alueita noin 150 ha. Helsingin kaupungin käyttämä rahamäärä esirakentamiseen on noin 23,5 Mmk vuosittain.

Esirakentamiseksi katsotaan rakentamisedellytysten luomista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille, sekä pehmeikköalueiden laadun parantamista maarakennustekniikan keinoin. Laajemmassa mielessä esirakentamisen piiriin katsotaan kuuluvaksi myös alueelliset kaivu- louhinta ja täyttötöyt. Viime vuosina yhä enemmän esille nousseiden saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan myös katsoa kuuluvaksi esirakentamisen piiriin.

Esirakentaminen tulisi sen vaatiman ajan vuoksi aloittaa mahdollisimman aikaisin. Kuitenkin esirakentaminen on aina liitettävä kunnalliseen päätöksentekoon. Täten aikaisin vaihe, jolloin esirakentaminen voidaan aloittaa on asemakaavaluonnosvaihe. Tällöin voi kuitenkin olla riskejä sille, että kaavaluonnokset ja esirakentamissuunnitelmat tulevat muuttumaan. Tämän vuoksi suositeltavin tapa on se, että esirakentaminen aloitetaan valtuuston hyväksymän asemakaavaan sisältyvän esirakentamissuunnitelman pohjalta kaupunginhallituksen annettua siihen luvan.

Esirakentamismenetelmiä on useita, joskin eräät menetelmät ovat selvästi käytetyimpiä kuin toiset. Menetelmän valintaan vaikuttavat mm. käytettävissä oleva rakentamisaika, alueen pohjasuhteet, alueen tuleva käyttötarkoitus, alueelle tuleva kuormitus sekä kustannukset.

Esirakentamiseen voidaan soveltaa mm. seuraavia menetelmiä tai niiden yhdistelmiä:

- esikuormituspenger
- esikuormituspenger ja liuskapystyöjitus
- pilaristabilointi
- massastabilointi
- keventäminen
- massanvaihto
- vahvistinkankailla lujittaminen

Edelliseen luetteloon voidaan lisätä myös hieman vähemmän käytetyimpiä menetelmiä, joita ovat mm. vakuumikonsolidointi, pudotustiivistys ja pengerraalu-

Edelliseen luetteloon voidaan lisätä myös hieman vähemmän käytetyimpiä menetelmiä, joita ovat mm. vakuumikonsolidointi, pudotustiivistys ja pengerraalu-

Eri menetelmien välillä valintaa tehtäessä on syytä kiinnittää huomio menetelmän käyttömahdollisuuksiin kyseisellä alueella. Esimerkiksi kustannuksiltaan usein edullisin pelkän esikuormituspenkereen käyttö ei yleensä sovellu kohteisiin, joissa pehmeikön syvyys on suurempi kuin 6 m. Myös eri menetelmien vaatima rakentamisaika muodostuu usein määrääväksi tekijäksi. Pelkän esikuormituspenkereen käyttö pystyöjituksella tehostettunakin edellyttää, että penger saa vaikuttaa alueella pehmeikön syvyydestä ja pohjamaan vedenläpäisevyydestä riippuen jopa useita vuosia. Toisaalta esim. keventämisen tai massanvaihdon rakentaminen pystytään tekemään lyhyessäkin ajassa (< 1 kk/ha).

Saastuneet maa-alueet ja niihin liittyvät kysymykset aiheuttavat ongelmia monessa kaupungissa ja kunnassa yhä enemmän. Saastuneisuutta määriteltäessä voidaan käyttää kahta erilaista pitoisuutta:

- *ohje-arvo* ilmaisee haitta-aineiden sellaisen pitoisuuden, jota pienempiä pitoisuuksia pidetään ihmiselle ja ympäristölle vaarattomana eikä alueen maankäytölle tai massojen sijoittamiselle aseteta rajoituksia.
- *raja-arvo* ilmaisee haitta-aineen sellaisen pitoisuuden, jota korkeammat pitoisuudet edellyttävät maaperän kunnostustoimenpiteitä

Jos haitta-aineen pitoisuus on ohje- ja raja-arvon välissä, olisi mahdolliset ympäristövaikutukset selvitettävä. Saastuneiden maa-alueiden tutkiminen ja kunnostaminen on syytä jättää asiantuntijoiden tehtäväksi.

Esirakentamisen tarve tulee tulevaisuudessa edelleen lisääntymään. Helsingin lisäksi myös muut rannikkoseudun kaupungit ja kunnat joutuvat tulevaisuuden maankäyttöä suunnitellessaan miettimään mahdollisuuksia laajentaa rakentamista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille. Näiden seikkojen valossa esirakentaminen ja siihen liittyvät asiat tulevat esille yhä useammin kaupunkien ja kuntien päätöksentekokelemissä.

KIRJALLISUUS

Aalto, A., Slunga, E., et al. Otaniemi 1998. Synteettiset geovahvisteet, suunnittelu ja rakentaminen. Teknillinen korkeakoulu. Rakennustieto Oy.

Assmuth, T., Strandgerg, T. et al. Helsinki 1992. Kemiallisesti saastuneen maaperän tutkimusmenetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A. 103 s.

EPS-Keventeet yhdyskuntarakentamisessa, Helsinki 1992, Isora Oy, Neste Oy/bitumi, Neste Oy/polystyreeni. Viatek Tapiola Oy. 38 s.

Forsman, J., Slunga, E. Synteettisen geovahvisteen ja maan välinen kitka sekä vahvisteen ankkuroituminen, Otaniemi 1996, Teknillinen korkeakoulu. 155 s.

Havukainen, J. Helsinki 1981. Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 18. 38 s.

Havukainen, J. Helsinki 1982. Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 23. 90 s.

Havukainen, J. Helsinki 1983. Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa. Tekniset ohjeet. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 31. 36 s.

Havukainen, J. Helsinki 1985. Esirakentamisen kehittäminen. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 43. 51 s.

Havukainen, J., Hämäläinen, A., et al. Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa. Tuhkaprojektin loppuraportti. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 45. 84 s.

Havukainen, J. Helsinki 1994. Pohjois-Hermanni. Keventämiskoerakentamisen tulokset, raportti I. Geo 4217/16.7.1993

Havukainen, J. 1995. Esirakentaminen maankäytön politiikassa. Geofoor 10. Geotekniikkaa kaikille- lyhyt oppimäärä. Suomen geoteknillinen yhdistys ry:n tietojulkaisu. 73 s.

Hilli, T. Oulu 1996. Palaturve eristeenä ja keventeenä. Oulun yliopisto, rakentamistekniikan osasto, diplomityö. 67 s.

Hämäläinen, P., Mattila, M., et al. Saarijärvi 1995. Ympäristöriskit -satunnaispäästöjen analysointi. Opetushallitus. 138 s.

Junnila, A., Lehtonen, J. 1996. Geotekninen kustannustiedosto, geokuti 96. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 71/1996. 19 s.

Karlstedt, P., Halkola, H. Helsinki 1993. Ylijäämäsavien massastabilointi. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 61/1993. 70 s.

Korkeakoski, P., Lehtonen, J. Helsinki 1996. Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 67/1996. 119 s.

Leiskallio, A., Lehtonen, J. Helsinki 1993. Maankäytön geotekninen suunnittelu. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 62/1993. 126 s.

Leppänen, M. Helsinki 1989. Vahvistinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto tiedote 49. 98 s.

Lohja Rudus ympäristöteknologia. Helsinki 1997. Lentotuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen hyötykäyttö maarakennuksessa. 4 s.

LPO-97, Lyöntipaalutusohjeet. Helsinki 1987, Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Rakentajan Kustannus Oy. 135 s.

Mroueh, U-M., Järvinen, H-L. Helsinki 1996. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Teknologiakatsaus 47/96. 194 s.

Mäkelä, E., Wahlström, U-M. et al. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkan hyötykäyttö maanrakentamisessa. Espoo 1995. VTT julkaisuja 809. 78 s.

Pikku-Huopalahti, esirakentaminen ja kunnallistekniikka. Helsinki 1989. Esite Pikku-Huopalahden esirakentamisesta. 7 s.

Pohjatuhka. 1998. Helsingin Energia, Viatek Oy. 15 s.

Puumalainen, N., Havukainen, J. Helsinki 1996. Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 68/1996. 93 s.

Puumalainen, N., Vepsäläinen, P. Espoo 1997. Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Arabianrannassa. Loppuraportti 11.12.1997. Teknillinen Korkeakoulu, pohjarakennus ja maamekaniikka. 37 s.

Rajala, P. Tampere 1994. Massastabilointi koerakenne, Espoo, Leppävaara. Laitteisto- ja työmenetelmäraportti. 30 s.

Rantamäki, M., Tammirinne, M. Pohjarakennus 465. Hämeenlinna 1996, 10. muuttumaton painos, Otakustantamo. 232 s.

Rekonen, R., Halkola, H. Helsinki 1994. Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloimalla. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 64/1994. 69 s.

Repo, A. Helsinki 1997. Renkaiden hyödyntäminen tierakenteissa. Tielaitos, Säkkiväline. 67 s.

RIL-95. Helsinki 1974. Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Saastuneiden maiden kunnostamisen laatuopas. Helsinki 1996. Jätehuoltoyhdistys ry. 39 s.

Sorvari, J. 1998. Riskiarvioiden laatiminen. Maaperän kunnostusseminaari 31.3.1998.

STO-91. Syvästabilointiohje, Helsinki, Rakennusaineteollisuus yhdistys. 53 s.

Talla, S. Espoo 1997. Maarakentamiseen soveltuvan rikinpoistotuotteen betonin pakkasenkestävyys. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto. 88 s.

Tanska, H., Slunga, E., et al. Geovahvisteiden käyttö, suunnittelu ja rakentaminen, Otaniemi 1995, Teknillinen korkeakoulu. 119 s.

Tielaitos. Geotekniset laskelmat, Helsinki 1996 TIEL 2180002. 31 s.

Tielaitos 2/1993. Massanvaihto, Helsinki 1993, Geopalvelut. 41 s.

Tielaitos 21/1993. Pengerpaalutus, Helsinki 1993, Geokeskus. 75 s.

Tielaitos 23/1993. Pohjanvahvistusmenetelmän valinta, Helsinki 1993, Geokeskus. 18 s.

Tielaitos 39/1994. Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä, Helsinki 1994. TIEL 3200248

Tielaitos 42/1994. Nauhapystyöjitus, Helsinki 1994, Geokeskus. 70 s.

Tielaitos 67/1994. Maanvarainen tiepenger savikolla, Helsinki 1994. TIEL 3200276

Tielaitos 77/1996. Syvästabilointi kehittyvänä pohjanvahvistusmenetelmänä, Helsinki 1996, Geokeskus. 53 s.

Tielaitos 18/1997. Syvästabiloinnin mitoitusohje, Helsinki 1997, Tuotanto, Konsultointi. 42 s.

Tielaitos 28/1997 Tien kevennysrakenteet, Helsinki 1997, Geokeskus.

Tielaitos 35/1997. Palaturpeen käyttö tierakenteessa, Oulu 1997. Konsultointi, Oulun kehityksikkö. 46 s.

Tuhola, M., Tammirinne, M. Stabiloinnin markkinaselvitys 1996. Rakentamisen ympäristöteknologiaohjelma. Ympäristögeotekniikka. Teknologian kehittämiskeskus. 27 s.

TVO, Helsinki 1988. Tienrakennustöiden valvontaohjeet, pohjanvahvistustyöt. Tie- ja vesirakennushallitus. 101 s.

Ulrich, J. Helsinki 1990. Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Vesi- ja ympäristöhallitus. 167 s.

Vehmas, M. Espoo 1995. Rikintoistotuotteiden soveltuvuus tien ja kadun rakentamiseen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. 130 s.

Viatek-Yhtiöt Oy 1995. Voimalaitostuhkien maarakennuskäytön kehittäminen. Tuhkarakenteiden teknisten vaatimusten selvitys. Raporttiote. 23 s.

Vuola, P. Tampere 1996. Dynamic Compaction of saturated Sand, TTKK, geotekniikan laboratorio. 66 s.

Vähäaho, I. Helsinki 1987. Jäädäytysmenetelmän käyttö. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto. Geoteknisen osaston tiedote 44. 46 s.

Vähäaho, I., Ryhänen, H. Helsinki 1989. Sulamiskonsolidaation vaikutukset savessa. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto. Geoteknisen osaston tiedote 50. 124 s.

LIITTEET

LIITE 1: Kustannustietokortti

Esikuormituspenger
Esikuormituspenger + pystyjoitus

LIITE 2: Kustannustietokortti

Keventäminen

LIITE 3: Kustannustietokortti

Massastabilointi-Massanvaihto

LIITE 4: Kustannustietokortti

Pilaristabilointi

LIITE 5: Kustannustietokortti

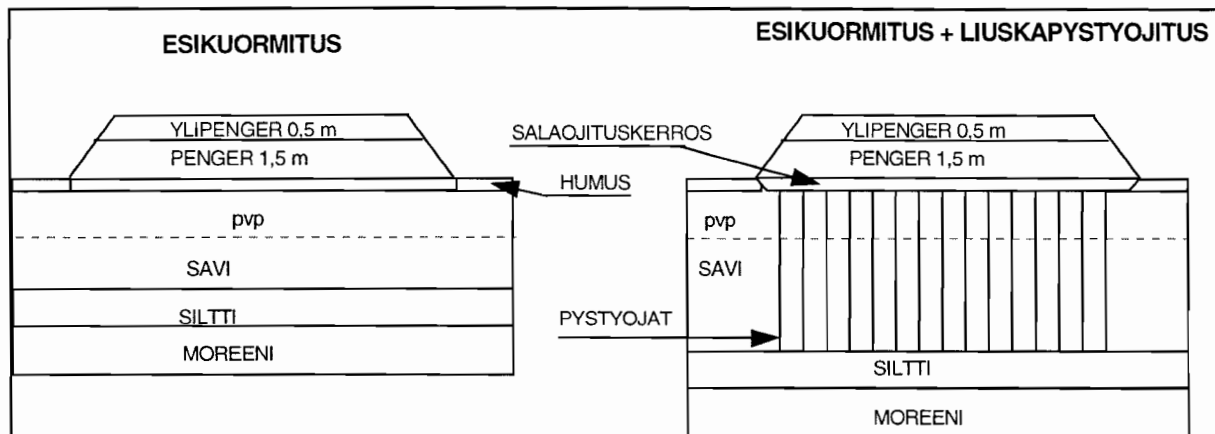
Pengerpaalutus

LIITE 6: Eräitä kohteita ja käytettyjä esirakentamismenetelmiä Helsingissä

Esirakentamismenetelmä

Esikuormituspenger

Esikuormituspenger + pystyjoitus



Esirakennettava alue 1 ha

Esimerkin pohjaolosuhteet:

humuskerros

5 m pehmeää savea $s_u = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$

1,0 m silttiä

kantava pohjamoreeni

Esimerkin pohjaolosuhteet:

humuskerros

10 m pehmeää savea $s_u = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$

1,0 m silttiä

kantava pohjamoreeni

Laskenta

Esikuormitus

Alueelle rakennettavan varsinaisen penkereen korkeus tulee olemaan 1,5 m. Kuormitetaan pohjamaata 0,5 m ylipenkereellä.

====>kokonaispengerkorkeus 2,0 m

(ylipenkereen korkeus arvioitu)

Esikuormitus + pystyjoitus

Pystyjojaväli on riippuvainen haluttavasta konsolidatioasteesta. Pystyjojaväli ja esikuormituksen mitoitus voidaan suorittaa tielaitoksen julkaisun "Nauhapystyjoitus" mukaan.

Tässä esimerkissä ojaväliksi on valittu 1,2 m.

Huom! Penkereen vakavuus täytyy tarkistaa liukupintalaskelmin

Esirakentamiskustannukset esikuormituksessa ja pystyjoituksessa

	yksikköhinta	esikuormitus/ha	esikuormitus + pystyjoitus/ha
Maankaivu	3...7 mk/m ³	5 000 m ³	5 000 m ³
Ylipenger (0,5 m)	20...40 mk/m ³	5 000 m ³	5 000 m ³
Pystyjojat	4...7 mk/m	0 m	69 450 m
Salaojakerros	30 mk/m ³	0 m ³	5 000 m ³
		12...24 mk/m ²	54...87 mk/m ²

Ylöskaivettavat massat on oletettu sijoitettavan rakennusalueelle. Kustannukset eivät sisällä alueelle rakennettavaa varsinaista pengertä.

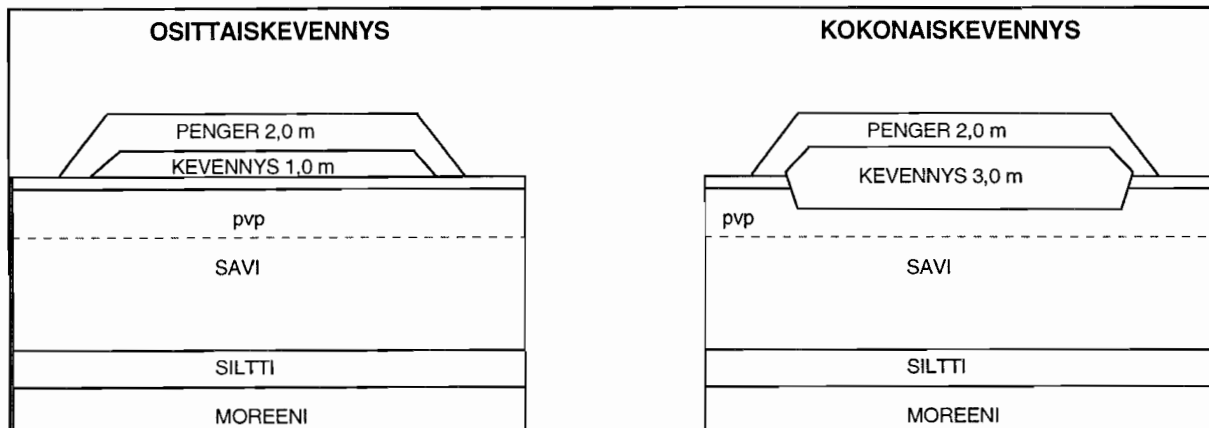
Edut: Esikuormituspenkereen toteuttaminen on yksinkertaista

Epävarmuustekijät/haitat: Menetelmän vaatima odotusaika (0...3 v.) ennenkuin varsinainen rakentaminen voidaan aloittaa
Pelkkää esikuormituspengertä käytettäessä savikon syvyyden täytyy olla alle 6 m

Huomioita: Mikäli rakenteen stabiilitetti on riittämätön, täytyy varautua vastapenkereiden rakentamiseen.
Herkyys jälkipainumien suhteen

Esirakentamismenetelmä

Keventäminen



Esirakennettava alue 1 ha

Esimerkin pohjaolosuhteet:

0,5 m kuivakuori $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

10 m pehmeää savea $s_u = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$

1,0 m silttiä

kantava pohjamoreeni

Laskenta

Osittaiskevennys, kevennys 1,0 m

Lisäkuorma ilman kevennystä:

$2,0 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 40 \text{ kPa}$

Lisäkuorma kevennettyinä

$1,0 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 + 1,0 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ kN/m}^3 = 24 \text{ kPa}$

Kokonaiskevennys, kevennys 3,0 m

Lisäkuorma kevennettyinä

penger: $1,0 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 + 1,0 \text{ m} \cdot 4 \text{ kN/m}^3 = 24 \text{ kPa}$

kuivakuori: $-0,5 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 + 0,5 \text{ m} \cdot 4 \text{ kN/m}^3 = -7 \text{ kPa}$

savi: $-1,5 \text{ m} \cdot 15 \text{ kN/m}^3 + 1,5 \text{ m} \cdot 4 \text{ kN/m}^3 = -16,5 \text{ kPa}$

$\Sigma = \sim 0 \text{ kPa}$

Esirakentamiskustannukset kevytsoralla kevennettäessä

	yksikköhinta	osittaiskevennys/ha	kokonaiskevennys/ha
Maankaivu	3...7 mk/m ³	0 m ³	20 000 m ³
Suodatinkangas (lisäkerros)	3 mk/m ²	10 000 m ²	11 000 m ²
Kevytsora	130...160 mk/m ³	10 000 m ³	30 000 m ³
Säästynyt pengemat.	50 mk/m ³	10 000 m ³	10 000 m ³
		83...113 mk/m²	349...447 mk/m²

Ylöskaivettavat massat on oletettu sijoitettavan rakennusalueelle. Kustannukset eivät sisällä alueelle rakennettavaa varsinaista pengertä.

Edut:

Nopea menetelmä

Keventeet toimivat myös lämpöeristeenä

Epävarmuustekijät/haitat:

Mahdollisiin painumiin (osittaiskevennys) on varauduttava

Huomioita:

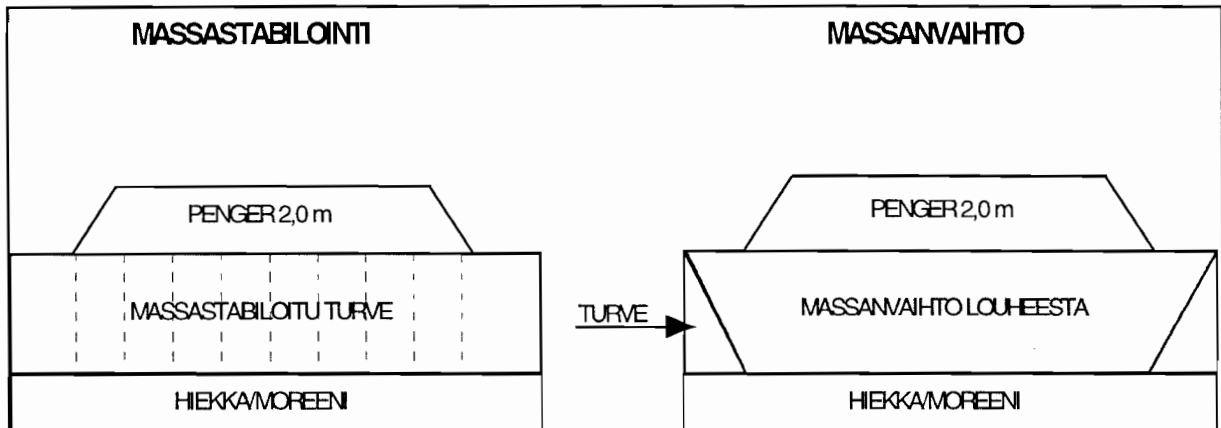
Tuhkaa ja renkaita keventeenä käytettäessä täytyy varautua ympäristöluvan hankkimiseen

Veteen rakennettaessa noste on huomioitava.

Kustannustietokortti

Esirakentamismenetelmä

Massastabilointi-Massanvaihto



Esirakennettava alue 1 ha

Esimerkin pohjaolosuhteet:
2,0 m turvetta
kantava pohja

Laskenta

Massastabilointi

Massastabilointiin tarvittava sideainemäärä (kg/m^3) määritetään laboratoriossa stabiilituuskokeiden perusteella. Mitoituksessa huomioidaan, ettei myötöjännitystä saa tietyllä varmuudella ylittää.

Massanvaihto

Massanvaihto voidaan suorittaa joko kaivamalla tai pengertämällä. Menetelmän valintaan vaikuttaa kovan pohjan syvyys ja maapohjan pehmeys. Kaivanto mitoitetaan siten, että penkereen ja luiskien haitallinen painuminen estetään sekä luiskien stabiilitetti saavutetaan.

Huom! Penkereen stabiilitetti on tarkistettava liukupintalaskelmin

Esirakentamiskustannukset massastabiloinnissa ja massanvaihdossa

	yksikköhinta	massastabilointi/ha	massanvaihto/ha
Maankaivu	3...7 mk/m^3	0 m^3	20 000 m^3
Suodatinkangas (lisäkerros)	3 mk/m^2	10 000 m^2	10 000 m^2
Louhe	50 mk/m^3	0 m^3	20 000 m^3
Massastabilointi	100...200 mk/m^3	20 000 m^3	0 m^3
		203...403 mk/m^2	109...117 mk/m^2

Ylöskaivettavat massat on oletettu sijoitettavan rakennusalueelle. Kustannukset eivät sisällä alueelle rakennettavaa varsinaista pengertä.

Edut:

Massastabilointi: Ylijäämämaita ei synny, säästää luonnonvaroja

Massanvaihto: Selkeä suunnittelu, painumaton rakenne, tasaus vapaasti valittavissa

Epävarmuustekijät/haitat:

Massastabilointi: Sideaineen mahdollinen epätasainen sekoittuminen ==> epähomogeenisuus

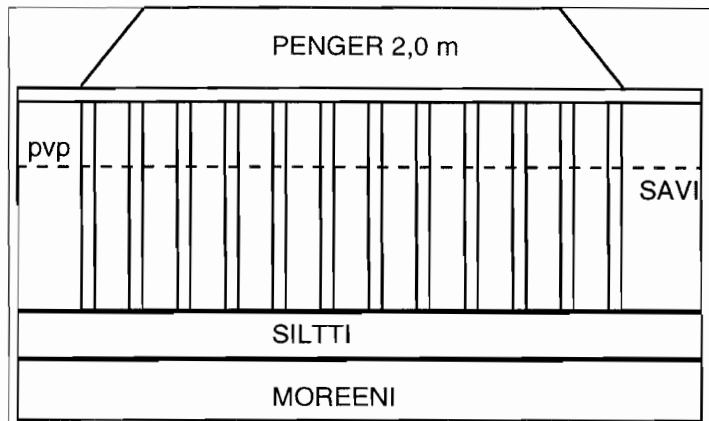
Massanvaihto: Suuri ylijäämämaitojen kertyminen, rasittaa luonnonvaroja, ympäristön rakenteet huomioitava

Huomioita:

Menetelmien välinen vertailu on suoritettava tapauskohtaisesti, huomioiden alueen tuleva käyttö. Massastabilointi vaatii stabiilituuskokeiden tekemisen

Esirakentamismenetelmä

Pilaristabilointi



Esirakennettava alue 1 ha

Esimerkin pohjaolosuhteet:

0,5 m kuivakuori $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

10 m pehmeää savea $s_u = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$

1,0 m silttiä

kantava pohjamoreeni

Laskenta

Lasketaan pilarivälit, käyttäen puolilujien pilareiden mitoitusmenetelmää. Myötökuormakerroin 0,65

Oletetaan pilarin leikkauslujuudeksi $\tau = 100 \text{ kPa}$, pilarin $\phi = 600 \text{ mm}$ =====> **k/k 1000 mm**

Pilarit ulotetaan silttikerroksen yläpintaan

Kuivakuorikerros jätetään ehjäksi, jolloin varmistetaan penkereen holvaantuminen

=====> **Pilaripituus 10 m**

Esirakennettavan alueen laajuus $10\,000 \text{ m}^2$ =====> pilarimäärä $10\,000/1^2 \cdot 10 \text{ m} = 100\,000 \text{ m}$

Esirakentamiskustannukset pilaristabiloinnissa

	yksikköhinta	pilaristabilointi/ha
Stabilointi	30...45 mk/m	100 000 m

$\phi = 600 \text{ mm}$

300...450 mk/m²

Kustannukset eivät sisällä alueelle rakennettavaa varsinaista pengertä.

Edut:

Stabiloinnin joustavuus ja muunneltavuus esim. putkijohtojen alla.

Kohtalaisen nopea rakentamismenetelmä

**Epävarmuustekijät/
haitat:**

Mahdollinen epähomogeenisuus, paksut täytöt haittaavat stabilointia

Huomioita:

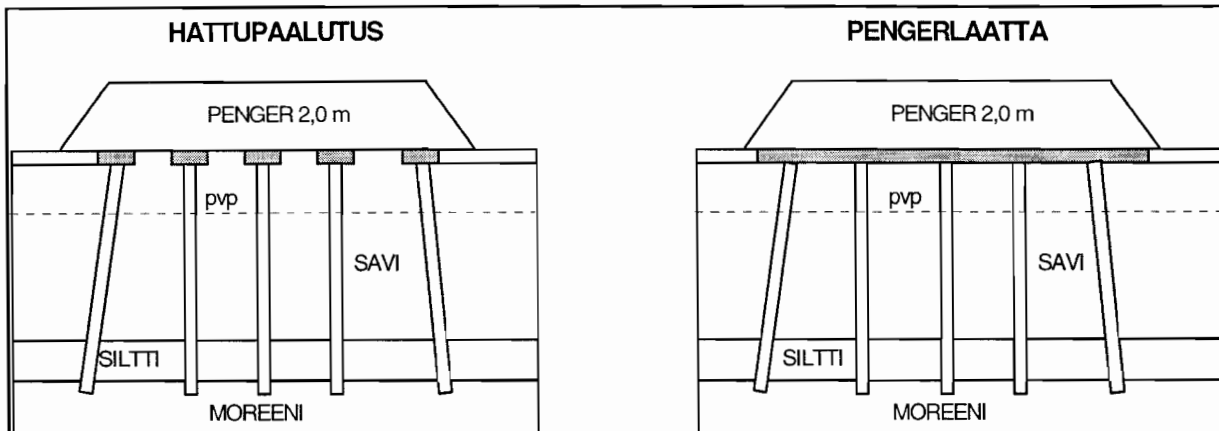
Matalilla pengerkorkeuksilla, penkereen holvaantuminen täytyy varmistaa

Stabiloituvuuskokeet

Kustannustietokortti

Esirakentamismenetelmä

Pengerpaalutus



Esirakennettava alue 1 ha

Esimerkin pohjaolosuhteet:

0,5 m kuivakuori $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ 10 m pehmeää savea $s_u = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$

1,0 m silttiä

kantava pohjamoreeni

Laskenta

Hattupaalutus, paalutusluokka IIPengerkuorma: $2 \times 20 = 40 \text{ kPa}$ Liik.kuorma nomogrammistä 23 kPa Paalu $250 \times 250 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{sall}} = 7 \text{ MPa} \implies 437 \text{ kN/paalu}$ Paaluväli määräytyy rakovälin perusteella, $r_v = b - a$ rakoväli r_v on 2 m penkereellä $\sim 0,3 \text{ m}$, kun hatun mitta $a = 1,4 \text{ m}$ $\implies$ paaluväli $b = 1,7 \text{ m}$ Paalut ulotetaan kantavaan pohjamoreeniin $\implies$ paalupituus 14 m **HUOM:** Laskelmissa ei ole huomioitu negatiivista vaippahankausta eikä paaluille tulevaa sivuttaisvastusta**Pengerlaatta**, paalutusluokka IIPengerkuorma: $2 \times 20 = 40 \text{ kPa}$ Liik.kuorma nomogrammistä 23 kPa Paalu $300 \times 300 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{sall}} = 7 \text{ MPa} \implies 630 \text{ kN/paalu}$ $\implies$ paaluväli $b = 3,1 \text{ m}$ Tielaitoksen julkaisu "Pengerlaatat" antaa $b = 3,0 \text{ m}$ **Esirakentamiskustannukset pengerpaalutuksessa**

	yksikköhinta	hattupaalutus/ha	pengerlaatta/ha
Paalutus $250 \times 250 \text{ mm}^2$	80...130 mk/m	48 442 m	0 m
Paalutus $300 \times 300 \text{ mm}^2$	100...150 mk/m	0 m	15 555 m
Hatut $1400 \times 1400 \text{ mm}^2$	500...900 mk/kpl	3 460 kpl	0 kpl
Paalulaatta	350...550 mk/m ²	0 m ²	10 000 m ²
		561...941 mk/m ²	506...783 mk/m ²

Kustannukset eivät sisällä alueelle rakennettavaa varsinaista pengertä.**Edut:** Tulevat rakenteet saavat painumattoman pohjan**Epävarmuustekijät/haitat:** Paalutus on varsin 'järeä' ja kallis esirakentamismenetelmä**Huomioita:** Paalutuksesta aiheutuva värinä täytyy huomioida

ERÄITÄ KOHTEITA JA KÄYTETTYJÄ ESIRAKENTAMISMENETELMIÄ HELSINGISSÄ

	Pikku-Huopalahti	Mellumäen keskus **	Torpparin- mäki **	Munkkivuoren laajennus * (talin puhdistamo)	Tattarisuon nuorten moottorikeskus **	Pukinmäen kolmio
*						
Esikuormituspenger	x	x	x			x
Pystyjoitus + esikuor.penger	x	x	x			
Vakuumikonsolidaatio			x			
Keventeet	x			x	x	x
Massanvaihto	x	x		x		
Pilaristabilointi	x	x	x	x	x	
Massastabilointi	x					
Paalutus	x					
Geovahvisteet						

Esikuormituspenger
Pystyjoitus + esikuor.penger
Vakuumikonsolidaatio
Keventeet
Massanvaihto
Pilaristabilointi
Massastabilointi
Paalutus
Geovahvisteet

Pukinmäen urheilupuisto	Kivikko	Kurkimäki **	Pohjois- Hermanni	Vanhankaupungin lahden länsiranta
x				
x				
			x	
	x	x		
				x

Esikuormituspenger
Pystyjoitus + esikuor.penger
Vakuumikonsolidaatio
Keventeet
Massanvaihto
Pilaristabilointi
Massastabilointi
Paalutus
Geovahvisteet

* Kohteessa myös saastuneiden maiden käsittelyä
** Kohteessa käytetty tuhkarakenteita

Julkaisija HELSINGIN KAUPUNGIN KIIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO MALMIN ASEMATIE 3 A 00700 HELSINKI PUHELIN (09) 1691, FAX (09) 169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo	Julkaisusarja, numero ja julkaisu-aika Geoteknisen osaston tiedotteet 77/1998 Toukokuu 1998	
Tekijä(t) Jari Nauska Jorma Havukainen	Projektinnumero(t) 6189 Toimeksiantaja(t) Helsingin kaupunki Kiinteistövirasto geotekninen osasto	
Nimike Esirakentaminen 1998		
Tiivistelmä Helsingin kaupungissa esirakentaminen otettiin käyttöön 1980-luvun alussa ja kuuluu tänä päivänä keskeisesti Helsingin kaupungin suorittamaan geotekniseen toimintaan. Helsingin kaupunki on esirakentanut maata vuosittain keskimäärin noin 8,5 ha, minkä kustannukset ovat olleet vuosittain keskimäärin noin 23,5 Mmk. Esirakentamisella tarkoitetaan rakentamisedellytysten luomista aiemmin rakentamatta jääneille huonoille maapohjille, sekä pehmeikköalueiden laadun parantamista maarakennustekniikan keinoin ennen alueen varsinaista rakentamista. Esirakentamisen ansiosta saavutetaan merkittäviä säästöjä alueen käytönaikaisissa kustannuksissa. Esirakentamisen piiriin katsotaan kuuluvaksi myös alueelliset kaivu-, louhinta- ja täyttötöyt. Myös saastuneiden maiden kunnostaminen voidaan katsoa kuuluvan esirakentamisen piiriin. Esirakentaminen tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisin. Eräät esirakentamismenetelmät ovat aikaa vaativia, esimerkiksi esikuormitus 1...3 vuotta. Mitä aikaisemmin esirakentaminen voidaan aloittaa sitä suurempi keinovalikoima on käytettävissä. Esirakentaminen on aina liitettävä kunnalliseen päätöksentekoon, täten aikaisin vaihe, jolloin esirakentaminen voidaan aloittaa on asemakaavaluonnosvaihe. Suositeltavinta on kuitenkin, että esirakentaminen aloitetaan valtuuston hyväksymään asemakaavaan sisältyvän esirakentamissuunnitelman pohjalta kaupunginhallituksen annettua siihen luvan. Esirakentamismenetelmiä on olemassa useita. Menetelmän valintaan vaikuttavat mm. käytettävissä oleva rakentamisaika, alueen pohjasuhteet, alueen tuleva käyttötarkoitus, alueelle tuleva kuormitus sekä kustannukset. Käytetyimpiä esirakentamismenetelmiä ovat esikuormituspenger, esikuormituspenger + liuskapystyöjitus, pilari- ja massastabilointi, keventäminen, massanvaihto ja geovahvisteilla lujittaminen. Näiden menetelmien lisäksi on olemassa myös muita vähemmän käytettyjä menetelmiä, kuten esim. paalutus ja vakuumikonsolidointi. Esirakentamismenetelmiä voidaan käyttää joko yksinään tai menetelmiä voidaan myös yhdistää. Merkittävämpiä esirakennettuja alueita Helsingissä ovat mm. Pikku-Huopalahti, Mellunmäen keskus, Kurkimäki, Pukimäen kolmio, Torpparinmäki, Munkkivuoren laajennus (Tali), Porslahdentien itäpuolinen alue, Ruoholahti ja Herttoniemenranta. Tulevaisuudessa merkittäviä esirakennettavia alueita tulevat olemaan mm. Arabianranta ja Viikin alueet.		
Avainsanat esirakentaminen, massatalous, esikuormittaminen, pystyöjitus, keventäminen, massanvaihto, stabilointi, paaluttaminen, geovahvisteet, saastuneet maat.		
ISSN 0788-6209	ISBN 951-718-098-5	Luokitus (UDK) 624.1
Kieli suomi, engl. ja ruot. tiivist.	Sivuja 92 s., liitteet 6 kpl	

Published by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION MALMIN ASEMATIE 3 A FIN-00700 HELSINKI PHONE +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo	Series title, number and date Research Notes of the Geotechnical Division 77/1998 May 1998	
Author(s) Jari Nauska Jorma Havukainen	Project number(s) 6189 Commissioned by Helsinki City Viatek Oy Real Estate Department Geotechnical Division	
Title Prebuilding 1998		
Abstract It was in the early 1980's that prebuilding technology began to be used in Helsinki and today prebuilding is included in normal geotechnical engineering in the city of Helsinki. Approximately 8,5 hectares of land has been prebuilt annually at the average costs some 23,5 mill.FIM. By prebuilding is meant the creating of conditions for areas of geotechnically very difficult sites suitable for building. It also means improvement of geotechnical quality of sites prior to actual building by the means of geotechnical engineering. Remarkable savings in repair and operating costs can be achieved by prebuilding. Prebuilding also includes increasing of land suitable for building by reclamation from the sea and large excavation, quarry and earthfilling works. Cleaning of contaminated soil can also be included in prebuilding. The prebuilding process should be started as early as possible. Some of the methods are timeconsuming, for instance preconsolidation 1...3 years. The earlier the process is started the more alternative methods are to be chosen. The administrative systems required for prebuilding operations have to be included in the normal decision-making practice of the municipality. Therefore the earliest time to start the prebuilding project is when the preliminary town plan sketches are printed. However, it's recommended that the prebuilding operations begin after the confirmation of the town plan and the printed design of prebuilding project and at last - the pre-building permit of the city government. There are several types of prebuilding methods. When choosing the proper method it must be taken into account among others time to be available, the geotechnical properties of the subgrade, the planned use of the site, the final loadings of the ground and the total costs. The most common prebuilding methods are: preconsolidation by an embankment, preconsolidation by an embankment + vertical drainage, deep- and mass-stabilization, discharge, soil displacement, use of reinforcing geosynthetics. Also some other less used methods can be applied, for example pile driving and vacuum consolidation. Prebuilding methods are usually applied alone but it's also possible combine one method with another. Among the most significant prebuilt sites in Helsinki are Pikku-Huopalahti, center of Mellunmäki, Kurkimäki, Pukimäki, Torpparinmäki, Munkkivuori (Tali), Porslahti, Ruoholahti and Herttoniemenranta areas. Herttoniemenranta. In the near future, among others Arabianranta and Viikki areas will be the main prebuilding sites in Helsinki.		
Keywords prebuilding, mass economy, preconsolidation by an embankment, vertical drainage, discharge, soil displacement, stabilization, pile driving, georeinforcement, contaminated soil		
ISSN 0788-6209	ISBN 951-718-098-5	Class (UDC) 624.1
Language finnish, engl. and swed. abstr.	Pages 92 p., app. 6	

Publicerad av HELSINGFORS STAD FASTIGHETSKONTORET GEOTEKNISKA AVDELNINGEN MALMS STATIONSVÄG 3 A FIN-00700 HELSINKI TELEFON +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo		Titel, nummer och datum Bulletin av Geotekniska avdelningen 77/1998 Maj 1998	
		Projektnummer 6189	
Auktorer Jari Nauska Jorma Havukainen		Uppdragsgivare Helsingfors stad Fastighetskontor Geotekniska avdelningen Viatek Oy	
Titel Förberedande byggande 1998			
Sammanfattning I början av 80-talet tog man i bruk förberedande byggande i Helsingfors stad och idag hör det till de centrala geotekniska åtgärderna som staden utför. Antalet förberedande byggande i Helsingfors har varit årligen ca. 8,5 ha, vilket betyder kostnader ca. 23,5 Mmk per år. Med förberedande byggande menas att man skapar byggnadsförutsättningar på tidigare obyggd dålig mark, samt att förbättra kvaliteten på mjuk mark, med jordbyggnadstekniska medel, innan områdets egentliga byggande. Till förberedande byggandet anser man även att områdesarbeten som grävning, sprängning och fyllning hör. Även att sätta förorenad mark i skick kan räknas höra till förberedande byggande. Med förberedande byggande erhåller vi märkbara inbesparingar på områdets kostnaderna under användningstiden. Förberedande byggandet skall påbörjas så tidigt som möjligt. Endel förberedande byggande metoder är tidkrävande, t.ex. förbelastningsbank 1...3 år. Ju tidigare man börjar desto större metodurval har man att tillgå. Förberedande byggande skall alltid sammankopplas med det kommunala beslutsfattandet, av den anledningen att det tidigaste skedet då förberedande byggande kan påbörjas är då ett utkast till en stadsplan föreligger. Det kan dock rekommenderas att förberedande byggande påbörjas först då stadsstyrelsen gett tillåtelse därom utgående från godkända förberedande byggande planer av fullmäktige för stadsplanerat område. Det finns många förberedande byggande metoder. Valet av metod påverkas av t.ex. byggnadstiden, områdets grundningsförhållanden, områdets kommande användning, planerad belastning för området samt kostnader. De vanligaste förberedande metoderna är förbelastningsbank, förbelastningsbank + vertikaldränering, pelar- och masstabilisering, lättfyllning, urgrävning och återfyllning och förstärkning med geotextiler. Utöver dessa metoder finns det även andra mindre använda metoder som t.ex. pålning eller vakuumkonsolidering. Förberedande byggande metoderna kan användas såväl enskilt som i olika kombination med varandra. Viktiga förberedande byggande områden i Helsingfors är bl.a. Lillhoplax, Mellungsbacka centrum, Tranbacka, Bocksbacka, Torparbacken, Munkshöjdens utvidgning (Tali), områden öster om Porslaxvägen, Gräsviken och Hertonsstranden. Kommande viktiga förberedande byggande områden kommer att vara Arabiastanden och områden i Vik.			
Nyckelord förberedande byggande, massekonomi, förbelastningsbank, lamelldränering, lättfyllning, urgrävning och återfyllning, stabilisering, pålning, geotextiler, förorenad mark.			
ISSN 0788-6209		ISBN 951-718-098-5	
		Klass (UDC) 624.1	
Språk finska, eng. o. svenska samm.f.		Sidor 92 s., bil. 6	

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, Remo</i>	Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella	1974	*
5	<i>Saarela, Matti</i>	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	1974	*
6	<i>Hartikainen, Jorma</i>	Kätkäpaalujen kantavuus	1976	
7	<i>Petäjä, Jouko</i>	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	1977	
8	<i>Raudasmaa, Pekka</i>	Metrotunneleiden injektointi	1977	*
9	<i>Anttikoski, Usko</i>	Kalliotunneleiden käyttö varastointiin	1977	*
10	<i>Tikkanen, Heikki</i>	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	1978	
11	<i>Arkima, Olli</i>	Kluuvin ruhjeen 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>	Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	1981	*
19	<i>Roinisto, Jarmo</i>	Yhteiskäyttötunneleiden 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>	Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	1982	
24	<i>Latvala, Ahti</i>	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	1982	
25	<i>Havukainen, Jorma & Hamäläinen, Alpo & Sulamäki, Antti</i>	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	1982	
26	<i>Halkola, Hannu</i>	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä	1982	*
27	<i>Paavola, Pertti</i>	Kunnallisteknisten tunneleiden louhintakustannusselvitys	1982	
28	<i>Vähäaho, Ilkka</i>	Maarakennusta koskeva mallityöselvitys	1982	*
29	<i>Gulm, 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>Lemonen, 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 & Schuller, Mikael</i>	Jäykkien liitosjohtojen pohjarakennusselvitys (Jäh-selvitys)	1984	
41	<i>Lahtinen, Eeva-Riina</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 & Härmäläinen, Alpo & Latvala, Ahti</i>	Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	1987	*
46	<i>Julkunen, Arto</i>	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	1987	
47	<i>Huri, Kaisa-Leena</i>	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	1988	
48	<i>Melander, Kari</i>	Puristin-heijarikairaus kairausmenetelmänä	1989	
49	<i>Leppanen, Mikko</i>	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden 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, Nino</i>	Ruoholahden koepaalu	1990	
55	<i>Yrjänä, Jouni & Korhonen, Osmo</i>	Pystyöjitus 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	Ahola, Jukka & Vintala, Raimo	Lujitus- ja tiivistysmäärät Helsingin pientunneleissa	1992
59	Ravea, Timmo & Korhonen, Osmo	Helsingin tulvapadon rakentamisen edellytykset	1992
60	Taipale, Hannu & Korhonen, Osmo	Paalutustarinan arviointi kirjallisuuden ja mittauksen perusteella	1992
61	Karlstedt, Paul & Halkola, Hannu	Ylijaamasavien massastabilointi	1993
62	Leiskallio, Antti & Lehtonen, Jouko	Maankäytön geotekninen suunnittelu	1993
63	Anttikoski, Usko & Kumar, Seppo & Saarelainen, Seppo	Kalhokaivanto jätehuollossa (esiraportti)	1993
64	Rekonen, Riia & Halkola, Hannu	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla	1994
65	Ulmala, Oja & Halkola, Hannu	Puristin-porakonekairaus	1994
66	Havukainen, Jorma	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa (matkakertomus)	1995
67	Korkeakoski, Pasi & Lehtonen, Jouko	Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset	1996
68	Puumalainen Nina & Havukainen Jorma	Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä	1996
69	Mehtälä, Jari & Korhonen, Osmo	Puotilan metroaseman pohjavesivaikutusten arviointi numeerisilla menetelmillä	1996
70	Nieminen, Jarmo & Anttikoski, Usko	EU:n rahoitustuki Helsingin kaupungin tutkimustoiminnassa	1996
71	Junnila, Antti & Lehtonen, Jouko	Geotekninen kustannustiedosto, Geokuti 96	1996
72	Wegelius, Arto & Vintala, Raimo	Kallioluokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa	1996
73	Vähaaho, Ilkka	Savien stabilointi eri sideaineilla, kenttäkokeiden tulokset	1996
74	Rantala, Kalle & Halkola, Hannu	Paalun kantavuuden arviointi puristin-heijarikairalla	1997
75	Wegelius, Arto & Holopainen, Pekka	Paisuvat kallosavet	1997
76	Leivo, Pekka & Halkola, Hannu	Maa- ja kallioperätietojen tulkinta porakonekairauksen rekisteröintituloksista	1998
77	Nauska, Jari & Havukainen, Jorma	Esirakentaminen 1998	1998
78	Svanström, Terhi & Raudasmaa, Pekka	Pohjavesi Helsingin kaupunkiympäristössä: esiintyminen, käyttö, suojele ja vaikutus rakentamiseen	1998

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

*) painos loppuunmyyty

Hinnat

tiedotteet	1 kpl 90 mk, 2-3 kpl 80 mk, 4-6 kpl 70 mk, 7- kpl 65 mk (sis. alv)
karttakirjat	450 mk/kpl (sis. alv)

Tilauslomake <http://www.kv.hel.fi/geo/tilaus.html>

Helsingin kaupunki
 Kiinteistövirasto/geotekninen osasto
 Malmin asematie 3 A 00700 Helsinki
 puhelin 09-1691 fax 09-169 4555
 Email geo@kv.hel.fi
<http://www.kv.hel.fi/geo>