



Tielaitos

Geotekniikan informaatiojulkaisu

Massanvaihto

**Tielaitoksen
selvityksiä**

2/1993

Helsinki 1993

Tielaitos
Geopalvelut

Tielaitoksen selvityksiä
2/1993

Geotekniikan informaatiojulkaisuja

Massanvaihto

Tielaitos
Geopalvelut

Helsinki 1993

ISBN 951-47-6961-9
ISSN 0788-3722
TIEL 3200127
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Hallintopalvelut, painotuotevarasto
Telefax (90) 1487 2698

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

ALKUSANAT

Tämä massanvaihtoa käsittelevä julkaisu on ensimmäinen pohjanvahvistusratkaisuja koskevassa informaatiojulkaisujen sarjassa.

Materiaalin keruu- ja kirjoitustyön ovat tehneet Mikko Leppänen ja Simo Hoikkala Viatek Tapiola Oy:stä.

Työn yhteydessä on haastateltu seuraavia rakentajia:

Juhani Ilmonen, Pentti Impiö, Esko Liimatta, Väinö Meriläinen, Pekka Pietola ja Teuvo Pirinen Uudenmaan tiepiiristä, Esko Kaarto Turun tiepiiristä sekä Rauno Honkala E. Hartikainen Oy:stä.

Tilaaajan puolelta työtä ovat valvoneet Matti Kolhinen ja Raimo Moisio geopalvelukeskuksesta sekä Heikki Vesa Oulun tuotantoteknisestä kehitysyksiköstä.

Tielaitos
Geopalvelut

Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 MENETELMÄKUVAUKSET	7
2.1 Massanvaihto kaivamalla	7
2.2 Massanvaihto pengertämällä	7
3 MASSANVAIHTO KAIVAMALLA	9
3.1 Kaivanto	9
3.2 Täyttö	11
3.3 Osittainen massanvaihto	11
3.4 Ympäristö ja varottavat rakenteet	12
4 MASSANVAIHTO PENGERTÄMÄLLÄ	13
4.1 Alkukaivanto	13
4.2 Täyttö	13
4.3 Ylös ja sivulle nousseet massat	16
4.4 Räjähdykset	17
4.5 Ympäristö ja varottavat rakenteet	21
4.6 Liittyvät rakenteet ja vanhan penkereen leventäminen	22
5 LÄJITYKSET	23
5.1 Tierakenteet	23
5.2 Erilliset läjitykset	24
5.3 Läjityksien suunnittelu	24
5.4 Kuljetusten huomioonotto suunnittelussa	24
6 MASSATALOUS	25
6.1 Hanketasoinen tarkastelu	25
6.2 Kohdekohtainen tarkastelu	25
7 TYÖNAIKAISET TARKKAILUMITTAUKSET	26
7.1 Työnsuorituksen ja lopputuloksen valvonta	26
7.2 Varottavat rakenteet	30
8 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	30
9 KALUSTO MASSANVAIHTOTÖISSÄ	31

10 SUUNNITELMAN ESITYSTAVAT	33
10.1 Piirustukset	33
10.2 Työselitykset ja valvontaohjeet	34
11 ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA KOHTEISTA	35
11.1 Massanvaihto kaivamalla kovaan pohjaan	35
11.2 Osittainen massanvaihto	36
11.3 Pohjaantäyttö	36
11.4 Varottavia rakenteita läheisyydessä	38
11.5 Vanhan penkereen levitys	39
11.6 Porraslouhinta	40
Kirjallisuus	41

1 JOHDANTO

Massanvaihto on pitkään tunnettu ja paljon käytetty pohjanvahvistusmenetelmä, jossa huonosti kantava tai kokoonpuristuva pohjamaa korvataan kantavalla materiaalilla. Massanvaihtomenetelmät ovat kehittyneet nykyiseen muotoonsa jo 1960-luvulla. Myöhemmin on kehittynyt lähinnä kaivu- ja kuljetuskalusto, mikä on alentanut massanvaihdon yksikkökustannuksia.

Pohjanvahvistustarpeen ratkaisevat vakavuus- ja painumakysymykset. Rakentustavan valinta perustuu teknis-taloudelliseen vertailuun eri pohjanvahvistustapojen kesken. Massanvaihtojen geotekniseen suunnitteluun vaikuttavat mm. pehmeikön paksuus, penkereen leveys ja korkeus, pohjamaan ominaisuudet ja maaston topografia. Edullinen massatilanne voi parantaa massanvaihdon taloutta ratkaisevasti muihin pohjanvahvistustapoihin verrattuna.

Massanvaihtotöiden suunnittelu- ja rakentamisohjeita sekä rakentamisesta saatuja käytännön kokemuksia ei ole menetelmän yleisyydestä huolimatta aikaisemmin koottu yhteen. Tämän julkaisun tavoitteena on esittää hyväksi havaittu massanvaihdon suunnittelu- ja rakentamiskäytäntö. Selvityksen yhteydessä on haastateltu massanvaihtojen suunnittelussa ja rakentamisessa mukana olleita henkilöitä sekä koottu toteutettujen massanvaihtokohteiden suunnitelmia. Julkaisun alkupuolella esitetään tavanomaisimmat massanvaihtojen suunnittelussa ja rakentamisessa huomioitavat asiat ja loppupuolella toteutettujen kohteiden suunnitelmia.

2 MENETELMÄKUVAUKSET

Massanvaihto tehdään joko kaivamalla tai pengertämällä. Tässä luvussa esitetään lyhyesti massanvaihtomenetelmien perusperiaatteet. Massanvaihtomenetelmiä käsitellään yksityiskohtaisemmin luvuissa 3 ja 4.

2.1 Massanvaihto kaivamalla

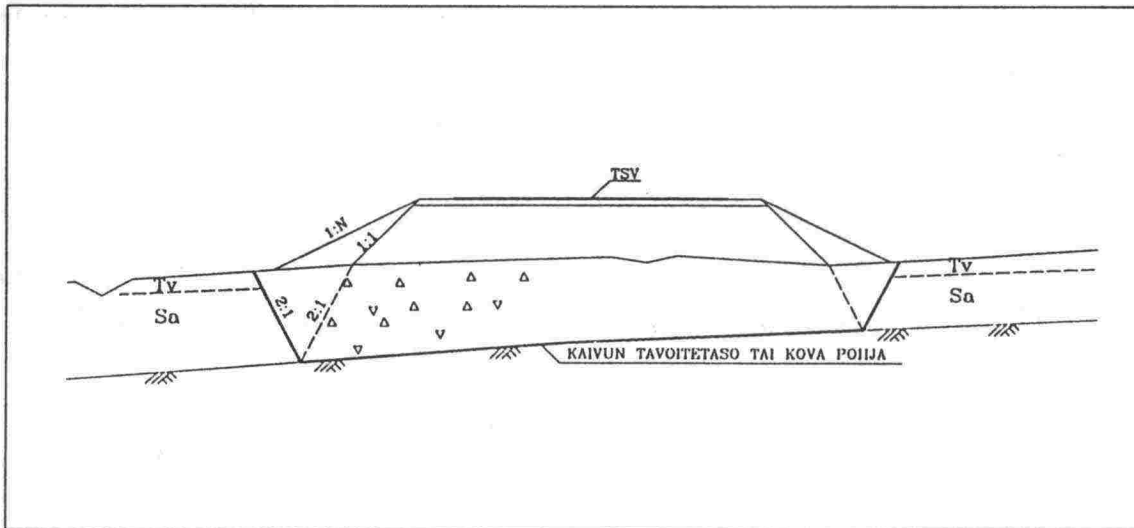
Menetelmässä pehmeät maakerrokset poistetaan kaivamalla joko kovaan pohjaan (kuva 1) tai määräsyyvyteen (osittainen massanvaihto). Täyttö tehdään yleensä päätypenkereenä luonnollisen maanpinnan tasoon. Menetelmä rajoittuu etupäässä melko mataliin pehmeikköihin (3...5 m).

Menetelmä soveltuu hyvin lyhyehköille ja matalille pehmeiköille sekä matalille soille, joissa kova tai riittävän kantava pohja on välittömästi turpeen alla. Sivukaltevassa maastossa saavutetaan teknisesti luotettavin tulos tällä menetelmällä. Massanvaihtoa kaivamalla voidaan käyttää myös herkästi vaurioituvien rakenteiden läheisyydessä sekä paalutettujen alueiden päissä, joissa paalupituudet ovat lyhyet.

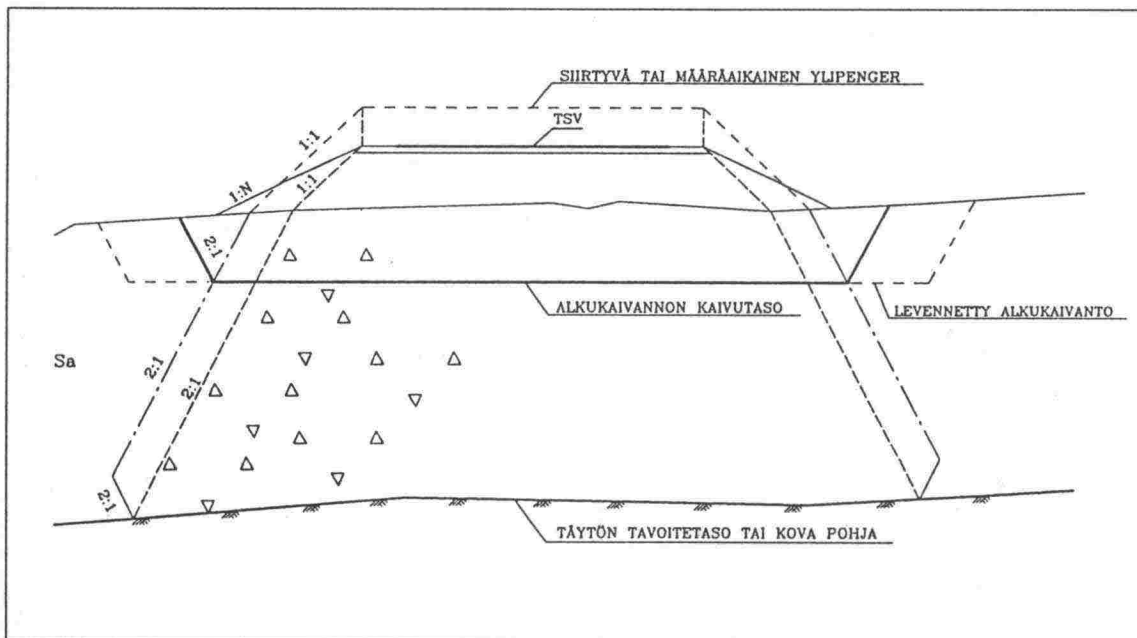
2.2 Massanvaihto pengertämällä

Massanvaihdossa pengertämällä eli pohjaantäytössä pehmeikön syvyys on yleensä niin suuri, ettei massanvaihto kaivamalla onnistu. Pohjaantäyttösyvyydet ovat tavallisesti olleet 5...10 metriä, mutta lähes 20 metrin syvyisiä pohjaantäyttöjä on toteutettu onnistuneesti. Pohjaantäyttöä vaikeuttava pintakerros (esim. kuivakuorisavi) poistetaan alkukaivannosta. Korkeana päätypenkereenä ajettava täyttö syrjäyttää ja puristaa pehmeät maakerrokset penkereen sivuille ja eteen (kuva 2). Pengertämisen aikana kaivetaan vastapainona toimivia eteen

ja sivuille nousseita massoja. Pengerrystyön onnistumisen edellytyksenä on, että maapohjaa kuormitetaan vähintään murtotilakuormituksella.



Kuva 1: Massanvaihto kaivamalla.



Kuva 2: Massanvaihto pengertämällä eli pohjaantäyttö.

Pohjaantäytössä voidaan käyttää tarvittaessa apuna räjäytyksiä. Räjäytyksillä joko pehmennetään maaperää etukäteisräjäytyksin tai korjataan toteutettua pengertä, mikäli täyttömassoja ei saada painumaan suunnitelmassa edellytettyn tasoon ja muotoon.

3 MASSANVAIHTO KAIVAMALLA

3.1 Kaivanto

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

Kaivannon mitoitus

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 stabiliteetti saavutetaan. Normaalitytapauksessa kaivannon leveys määritetään kuvan 1 mukaisesti. Sivukaltevalla pohjalla kaivannon mitoitus tarkistetaan vakavuuslaskelmin. Kaivannon luiskat tehdään normaalisti melko jyrkiksi kaltevuuteen 2:1...1:1, mikä tavallisesti riittää turvemaidella ja pehmeillä koheesiomailla, jos täyttö tapahtuu välittömästi kaivun perässä.

Kaivusvyvyys

Perusmaa poistetaan kaivamalla tai ruoppaamalla suunnitelmassa tai työn aikana määrättyyn syvyyteen. Kaivutaso suunnitellaan yleensä kovan pohjan maalajirajan tai saven lujuusominaisuuksien perusteella. Kerrosrajojen epäsäännöllisen vaihtelun vuoksi lopullinen kaivutaso määräytyy työnaikaisten havaintojen perusteella. Suurimmat kaivusvyvydet ovat tavallisesti kuivassa kaivannossa 4...5 metriä ja veden alla 3...4 metriä.

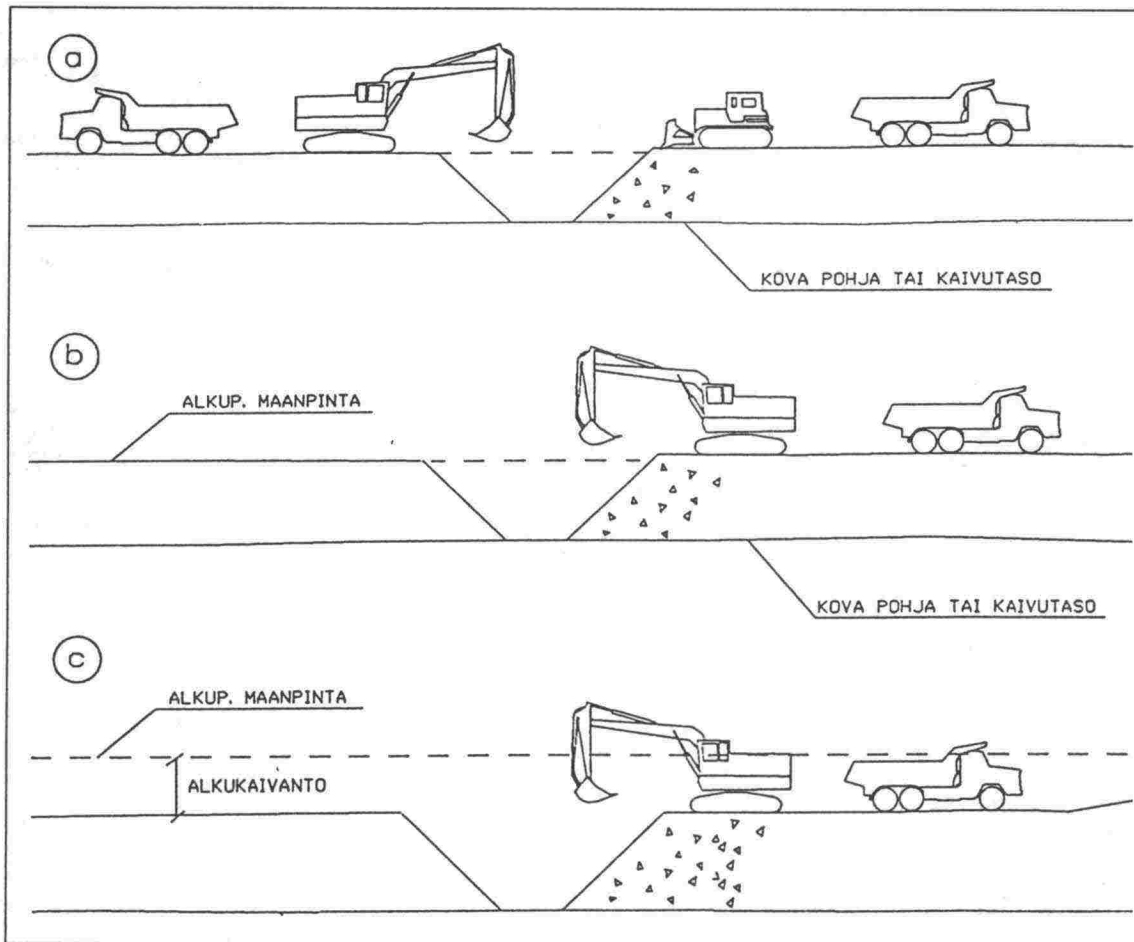
Kaivumenetelmät

Käytettävän kaivumenetelmän ratkaisevat yleensä pohjasuhteet. Kaivu tehdään joko luonnonmaan päältä penkereen edestä tai täyttöpenkereen päältä olosuhteissa, joissa on vaikeuksia suorittaa kaivua etukäteen. Kaivantoluiskien sortumisvaaraa voidaan joissakin tapauksissa pienentää täyttämällä kaivanto vedellä.

Etukäteen kaivu (kuva 3a) soveltuu esimerkiksi talvisaikaan soilla, missä luiskien pysyvyys ei muodostu ongelmaksi ja koneiden liikkuminen jäätyneen pintakerroksen varassa on mahdollista. Menetelmän etuna on työn selkeys ja massojen käsittelyn helppous. Kaivantoa ei yleensä voida pitää auki pitkään, joten täytön on edettävä kaivun perässä. Kesällä on ajoteiden kantavuutta parannettu suodatinkankailla. Soilla voidaan ajoteitä vahvistaa poistettavalla pienpuustolla ja maatumattomalla pintakerroksella.

Penkereen päältä kaivun (kuva 3b) etuna on riippumattomuus sääolosuhteista. Menetelmä rajoittaa kaivusvyvyttä ja poiskuljetettavat vetelät kaivumassat sotkevat rakennettua pengertä. Kaivun mukana nousevat täyttömassat lisäävät massameneekkiä. Leveillä penkereillä yhtäaikainen kaivu ja täyttö ei aiheuta ongelmia. Moottoritiepenkereellä voi työskennellä 2...3 kaivinkonetta rinnan. Kapea pengeri vaikeuttaa ohituksia ja peruutusmatkat voivat muodostua pitkiksi. Joissakin tapauksissa pengeri on rakennettu työteknisistä syistä suunniteltua leveämpänä ja ylimenevät massat on poistettu myöhemmin. Pitkät peruutusmatkat voidaan välttää myös ylläpitämällä siirtyvää ohitus- ja kääntöpaikkajärjestelyä.

Kaksivaiheisessa kaivumenetelmässä (kuva 3c) kaivetaan 1...2 metrin syvyinen alkukaivanto etukäteen ja loppuosa kaivetaan louhepenkereen päältä. Joissakin tapauksissa kaivinkone voi tällöin työskennellä alkuperäisen maanpinnan tason alapuolella. Kevennysleikkauksia käyttämällä alkukaivannon syvyys voi olla jopa 3 metriä ja toisen kaivuvaiheen syvyys 5...6 metriä. Näin menetellen voidaan matalat pohjaantäytöt vaihtaa massanvaihdoksi kaivamalla.



Kuva 3: Massanvaihdon tavallisimmat kaivumenetelmät. a) Etukäteen kaivu b) Penkereen päältä kaivu c) Kaksivaiheinen kaivumenetelmä.

Kaivannon kuivatus

Kaivannossa oleva vesi lisää yleensä luiskien vakavuutta, mutta vaikeuttaa kaivamista ja aiheuttaa kaivannon pohjan liettymistä sekä toimii vastapainona täyttömassojen alla estäen syrjäytymistä. Talvella on estettävä jäälautan muodostuminen kaivannon pohjalle myöhempien sulamispainumavaurioiden ehkäisemiseksi. Tarvittaessa kaivanto voidaan kuivattaa esim. kaivinkoneeseen asennetulla hydraulisella pumpulla tai uppopumpuilla. Kuivatusta harkittaessa on selvítettävä pohjannousun mahdollisuus.

Siirtymärakenteet

Kaivannon alku- ja loppupäät tehdään loivasti kiilaten painumien tasoittamiseksi. Alku- ja loppukohta kannattaa rajoittaa, mikäli mahdollista, kantavaan maahan siten, että erillisiä siirtymärakenteita kuten kevytsorakiiloja ei enää tarvita.

3.2 Täyttö

Täyttömateriaalit

Paras ja eniten käytetty massanvaihtojen täyttömateriaali on louhe, mutta myös muita kitkamaalajeja kuten soraa, moreenia tai hiekkaa voidaan käyttää. Kantavan pohjan ollessa pinnaltaan sivukaltevaa tai savikerroksen peittämää kalliota on suositeltavin täyttömateriaali penkereen pohjalla louhe. Myös veden alla pengerrettäessä louhe on paras materiaali, koska sillä ei ole liettymisvaaraa. Louhepenkereen etuna on lisäksi se, että kaivinkoneen työskennellessä penkereen kärjessä on varmuus sortumaa vastaan suurempi. Mikäli massanvaihtoalueella tullaan paaluttamaan rakenteita, on suositeltavin täyttömateriaali paalutyypistä riippuen hiekka, murske tai pienikivinen sora.

Pengerrystavat ja tiivistäminen

Massanvaihdon täyttö ajetaan päätypengerryksenä yleensä luonnollisen maanpinnan tasossa siten, että kiilamainen penkereen kärki auraa kaivannon pohjalle jääneen koheesiomaan sivuille ja eteen. Yläpuolinen pengerr voidaan rakentaa kerroksittain tarvittaessa täryjyrällä tiivistäen. Korkeita massanvaihtopenkereitä ei ole kuitenkaan yleensä erikseen tiivistetty, vaan penkereen on annettu tiivistyä omasta ja päällä liikkuvien koneiden sekä maansiirtoautojen vaikutuksesta.

Mikäli kaivannon reunojen sortumisvaaraa ei ole, voidaan joissakin tapauksissa poistaa vesi kaivannosta ja rakentaa pengerr kerroksittain tiivistäen kaivannon pohjalta saakka.

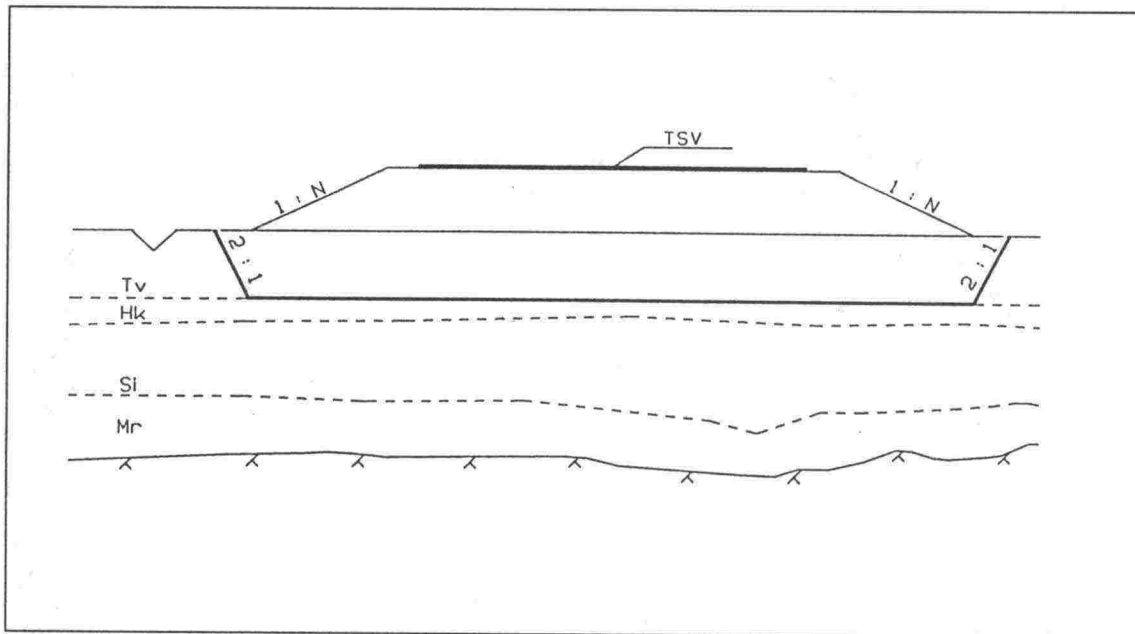
Tiivistäminen voi tulla kysymykseen paikallisesti massanvaihdon liittyessä painumattomaan rakenteeseen kuten siltaan. Tiivistämismenetelmänä on käytetty tällöin pudotustiivistystä. Pudotustiivistyksen laajemmän käytön estävät menetelmän korkeat kustannukset (lähes 100 mk/isku). Pudotustiivistyskalustoa on saatavissa aina 400 tm:n tehoon saakka.

3.3 Osittainen massanvaihto

Osittaisessa massanvaihdossa maapohjan heikko pintakerros korvataan paremmin kantavalla materiaalilla sellaiseen syvyyteen, että tiepenkereen vakavuus on riittävä ja penkereen painumat jäävät sallitun suuruisiksi. Menetelmä soveltuu maaperässä, jossa enintään 3...5 metrin paksuisen pehmeän turvetai savikerroksen alla on lujempi, tasaisesti kokoonpuristuva maakerros (kuva 4).

Osittaisen massanvaihdon yhteydessä pengerr ajetaan tavallisesti päätypenkereenä maanpinnan tasoon. Penkereen painumista voidaan nopeuttaa ylivenkereellä, mikäli pohjamaan lujuus on riittävä. Lujuuden ollessa liian pieni voidaan pengerr rakentaa joissakin tapauksissa kerroksittain siten, että alin kerros toimii vastapenkereenä seuraavalle kerrokselle estäen alle jäävien maiden ylös kohoamisen penkereen edessä. Penkereiden reunat pyrkivät

usein painumaan tavoitetasoa syvemmälle, jolloin penkereen keskelle jää pehmeä perusmaalinssi. Varsinkin sivukaltevissa olosuhteissa voi ongelmaksi muodostua täyttömassojen liukuminen ja painuminen haluttua syvemmälle tasolle eli osittainen massanvaihto pyrkii ryöstäytymään pohjaantäytöksi. Tahatonta pohjaantäyttöä on pyritty estämään mm. suodatinkankailla.



Kuva 4: Osittaisen massanvaihdon periaate.

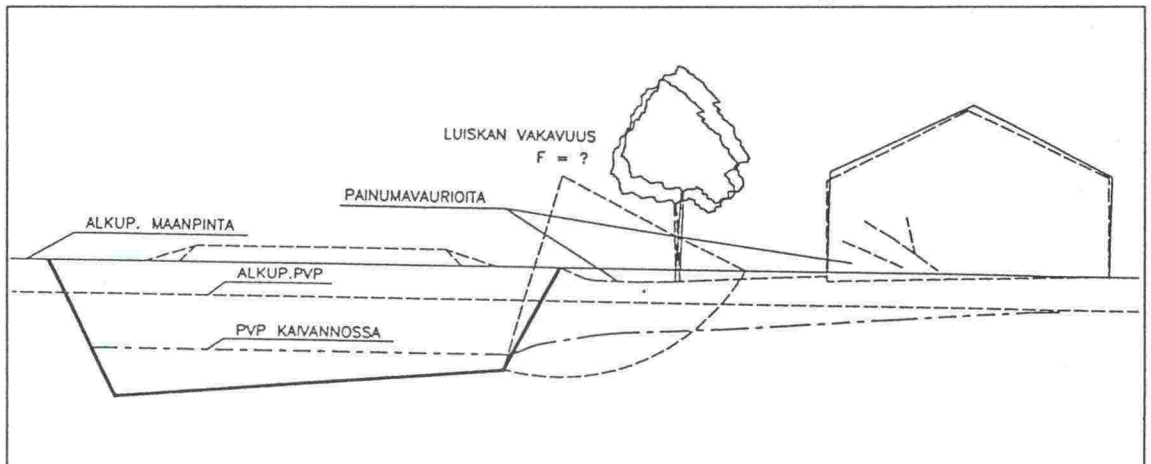
Osittainen massanvaihto voidaan tehdä myös pengertämällä, jolloin täyttöä ei pyritä painamaan kovaan pohjaan saakka. Menetelmää on sovellettu mm. Lounais-Suomen useiden kymmenien metrien paksuisilla pehmeiköillä. Jälkipainumia on pyritty estämään ylipenkereellä ja pengervevennyksillä. Penkereen muotoa joudutaan usein korjaamaan räjäytyksillä. Kohteiden laatutaso on vaihdellut huomattavasti.

3.4 Ympäristö ja varottavat rakenteet

Luisien sortuminen sekä pohjavedenpinnan aleneminen joko työn aikana (kaivannon kuivanapito) tai pysyvästi voivat aiheuttaa vaurioita ympäristön rakenteille ja rakennuksille (kuva 5). Pieniä luisien lohkeamia tapahtuu lähes jokaisessa kohteessa, mutta näistä paikallisista sortumista ei ole yleensä suurempaa haittaa, mikäli lähistöllä ei ole vaurioherkkiä rakenteita. Varottavia rakenteita on tarkkailtava työn aikana ja ryhdyttävä toimenpiteisiin, mikäli muutoksia havaitaan. Täytön on edettävä heti kaivun perässä eikä kaivantoja saa jättää auki yön yli. Pohjavedenpinnan alenemisesta aiheutuvien painumien varalta on selvítettävä ympäristön rakenteiden perustamistapa.

Sekä poiskaivettujen että täytössä käytettävien massojen kuljetuksista aiheutuu haittoja liikenteelle etenkin asutuilla alueilla työskenneltäessä. Yleisillä teillä voidaan liikenteelle aiheutuvia häiriöitä välttää liikennöimällä ruuhka-aikojen ulkopuolella ja järjestämällä ylityspaikkoihin joko käsiohjaus tai liikennevalot. Merkittäviä ympäristöhaittoja ovat myös vetelien massojen valuminen kuljetusteille ja ympäristöön sekä tien pölyäminen. Erityisen liikaista työ on

syysateilla. Eräänä ratkaisuna on ajoneuvojen pyörien pesu työmaalla ennen ajoa yleiselle tielle sekä mahdollisimman tiiviiden korkealaitaisten lavojen käyttö.



Kuva 5: Massanvaihtokaivannon ympäristövaikutukset.

4 MASSANVAIHTO PENGERTÄMÄLLÄ

4.1 Alkukaivanto

Massanvaihdossa pengertämällä eli pohjaantäytössä vaikuttavat yksityiskohtaiseen suunnitteluun lähinnä penkereen leveys ja korkeus, pehmeikön paksuus, syrjäytettävän maan ominaisuudet sekä kovan pohjan sivu- tai pituuskaltevuus.

Pengertämällä tapahtuvan massanvaihdon alkukaivanto tehdään samoja periaatteita noudattaen kuin massanvaihdossa kaivamalla. Alkukaivannosta poistetaan pengerrystyötä haittaava kuivakuorikerros tai puinen ja juurinen pintaturve. Kaivussyvyys on tavallisesti 2...3 metriä ja kaivannon mitoituseriaate on esitetty kuvassa 2. Alkukaivanto kannattaa toteuttaa mahdollisimman laajana ja syvänä, koska tällöin vähennetään ylös kohonneiden massojen määrää. Alkukaivannon syvyyttä voidaan lisätä kaivantoluiskien stabiliteettia vaarantamatta tekemällä kevennysleikkaukset kaivannon reunoille.

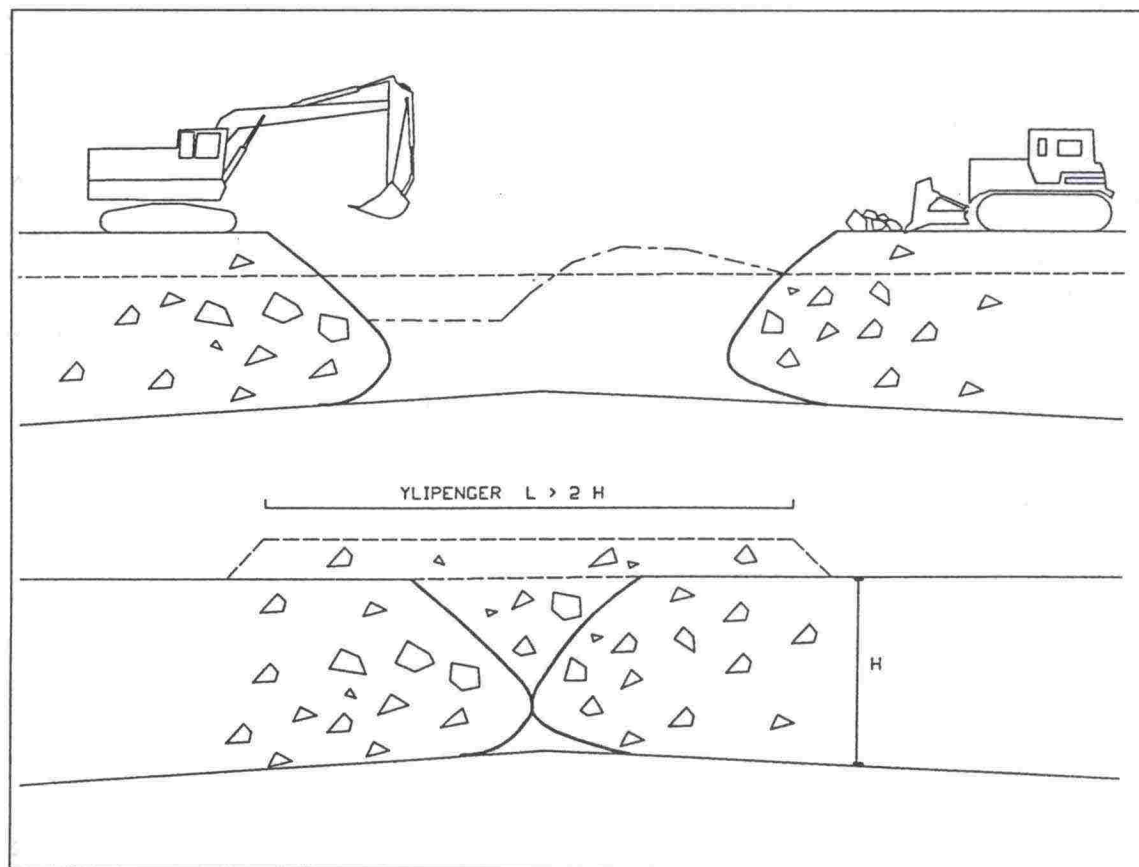
Talviolosuhteissa on estettävä jäälautan muodostuminen alkukaivantoon. Penger nousee helposti jäälautan päälle ja seurauksena on sulamispainumia jään sulaessa hitaasti syvällä penkereen sisällä. Kuivakuoren jäätyminen pakkasilla vaikeuttaa kaivutyötä. Roudan rikkominen pehmeän savikerroksen päällä voi olla hankalaa, koska irtoavat jäätyneet kamit pyrkivät sukeltamaan pehmeään saveen. Roudan rikkomiseen käytetään iskuvasarakalustoa.

4.2 Täyttö

Pengerrysmenetelmä

Pohjaantäyttö suoritetaan korkeana päätypengerryksenä, jonka leveys on suunnitellun penkereen levyinen. Pengerrystyö tulisi tehdä, mikäli mahdollista, yhdeltä suunnalta. Jos penger rakennetaan kahdelta suunnalta, päät yhdistetään pehmeikön matalimmassa kohdassa (kuva 6).

Täyttökuormat tyhjenetään muutaman metrin päähän penkerein kärjestä ja pusukone työntää täyttömateriaalin kaivantoon tai tasaa sen ylipenkereeksi. Vastaanottavana koneena voidaan käyttää myös kaivinkonetta. Penkerein leveydellä ei ole suurta vaikutusta työn onnistumiseen. Hyvin kapeita pohjaantäyttöjä kuten kevyen liikenteen raitteja on kuitenkin vaikeaa saada onnistumaan.



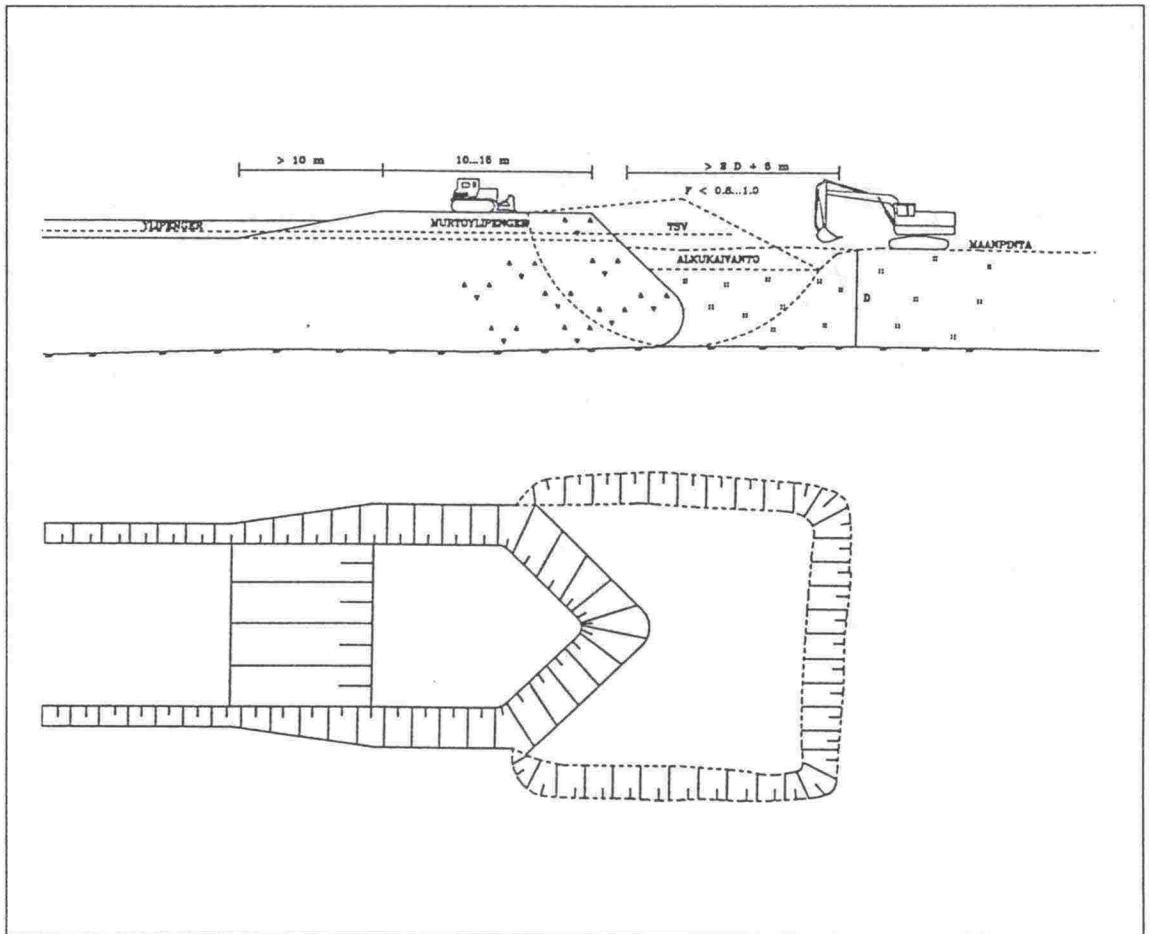
Kuva 6: Pohjaantäyttö kahdelta suunnalta pengerrettäessä.

Täytön onnistumisen tarkkailu

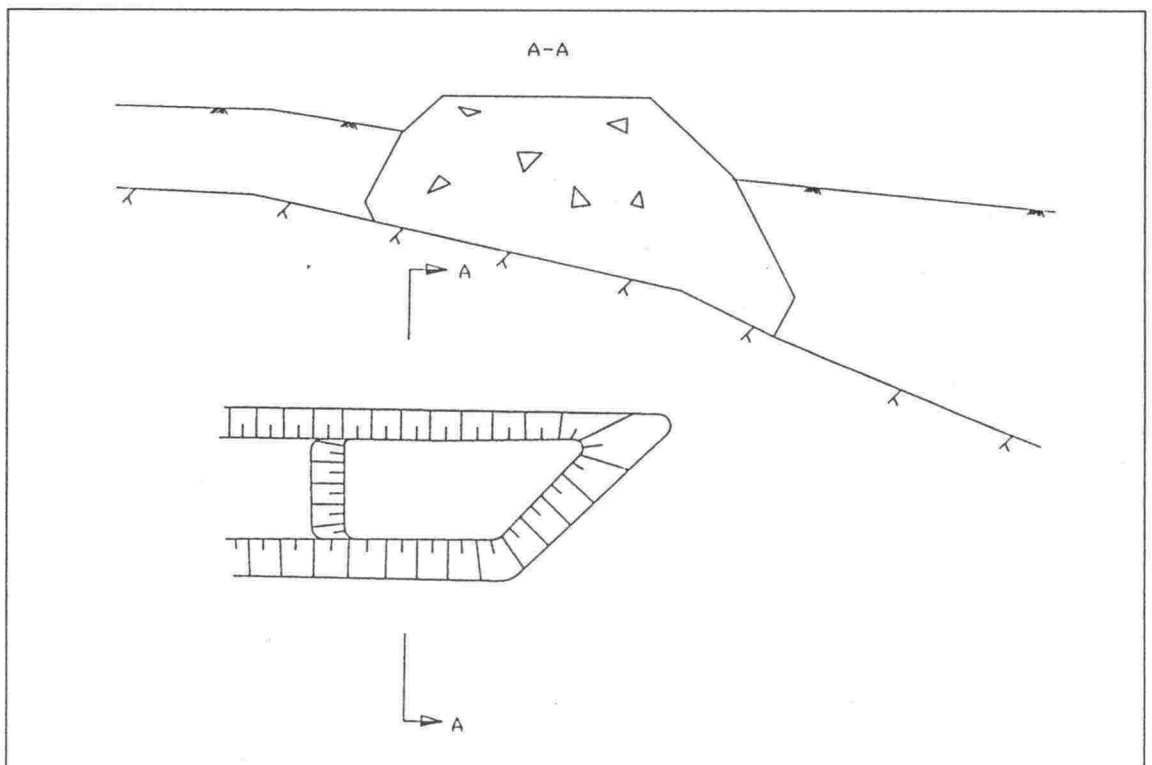
Täyttömassojen tunkeutumista seurataan työn aikana sekä näköhavainnoilla että massamenekin tarkkailulla. Tarvittaessa tehostetaan ylösnousevien massojen kaivua tai korotetaan ylipengertä. Mahdolliset sivulle suuntautuvat liukupinnat katkaistaan kaivamalla tai räjäytyksin. Yleisin täyttömateriaali on louhe hyvän saatavuutensa, helpon käsiteltävyytensä sekä perusmaata rikkoivan rakenteensa ansiosta.

Penkerein kärjen muoto

Penkerein kärki on kiilan muotoinen (kärkikulma noin 60 - 90°), ja se auraa pohjamaata sivuille (kuva 7). Sivukaltevassa maastossa (kaltevuus > 5°) aurataan pohjamaata pehmeikön matalammalta reunalta syvempää reunaa kohti. Penkerein kärki sijaitsee tällöin tiepenkerein toisella reunalla ja kärkikulma on noin 30 - 45° (kuva 8). Kärki saa tällöin tukea ylös nousevista massoista, jolloin sivulle ryöstäytymisen riski jää pienemmäksi.



Kuva 7: Massanvaihto pengertämällä käyttäen siirtyvää ylipengertä.



Kuva 8: Massanvaihto pengertämällä sivukaltevassa maastossa.

Murtopenger

Käytettävän murtopenkereen korkeuteen vaikuttavat pohjaantäyttöolosuhteet, minkä vuoksi ylipengerkorkeus on ratkaistava tapauskohtaisesti. Tavallisesti käytetään penkereen kärjessä etenevää murtoylipengertä, mutta joissakin tapauksissa matalampikin murtopenger, kuten korkea tiepenger, voi toimia murtopenkereenä. Työn onnistuminen vaatii yleensä, että varmuuskerroin on $F = 0.8 \dots 1.0$. Yleensä 5...6 m syvällä pehmeiköllä käytetään vähintään 1 m ja 10...12 m pehmeiköllä vähintään 2 m korkeata tilapäistä ylipengertä. Työnaikaisena murtoylipenkereenä on käytetty jopa 3...4 metrin korkuisia ylipenkereitä. Murtoylipenkereen korkeus pidetään jatkuvasti sellaisessa tasossa, että maapohjan murtotila säilyy. Ylipenkereen yläpinnan leveyden tulisi olla yhtä suuri kuin kuormitettavan penkereen yläpinnan leveys (kuva 2).

Painumaylipenger

Painumaylipenkereellä voidaan vähentää haitallisia jälkipainumia. Ylipenkereen poistamisajankohdan määrittämiseksi suoritetaan painumamittauksia. Suunnitelmissa vaaditut painuma-ajat ovat tavallisesti olleet 6...12 kuukautta, mutta työmaalla ylipenkereitä on jouduttu poistamaan jo 3...4 kuukauden kuluttua aikataulusyistä. Ylipenkereen korotuskriteerin määrää yleensä suunnittelija. Alle 0.2 metrin painumia ei yleensä korjata ylipengertä korottamalla. Louhepenkereellä sopiva korotusväli on 0.4...0.6 metriä.

Ylipengermateriaali

Siirtyvässä murtoylipenkereessä käytetään yleensä samaa materiaalia kuin varsinaisessa penkereessä. Erottelusta ei ole hyötyä tapahtuvien sortumien vuoksi. Pysyvässä ylipenkereessä voidaan käyttää murskettä varsinkin tasausvaiheessa ja siinä tapauksessa, ettei ylipenkereessä käytetylle täyttömateriaalille ole käyttöä myöhemmin. Joissakin kohteissa murskevarastoa onkin pidetty ylipenkereenä.

4.3 Ylös ja sivulle nousseet massat

Täytön yhteydessä nousee pehmeätä perusmaata tavallisesti penkereen sivuilta ja edestä, missä se toimii vastapenkereenä haitaten täyttötöiden onnistumista. Ylös ja sivulle nousseet massat kaivetaan pois niin syvältä ja leveältä, että penkereen murtokyky säilyy. Penkereen painumista kovaan pohjaan saakka edistää myös poiskaivu penkereen kärjen alta, sillä tämä toisaalta keventää vastapainoa ja toisaalta edistää perusmaan häiriintymistä. Tämä vaikutus on merkittävä erityisesti kourakauharuoppauksessa.

Ylös ja sivuille kohoavien massamäärien arvioimiseen ei ole olemassa yksiselitteistä menetelmää, vaan arviot perustuvat kokemuseräiseen tietoon. Keskimäärin ylös kohonneiden massojen määrän voidaan arvioida olevan luokkaa 0.3...0.5 * täyttömassat. Sivuille kohoavat suuret massamäärät tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheen hallinnollisessa käsittelyssä siten, että massanvaihtokohdissa varataan riittävän laajat haltuunottoalueet. Etenkin sivukaltevilla paikoilla alueet ovat joskus jääneet liian suppeiksi.

Ylös kohoavien massojen määrää voidaan pienentää merkittävästi kaivamalla alkukaivanto mahdollisimman syvänä ja laajana. On edullisempaa kaivaa ja kuljettaa massoja alkukaivannosta, koska vetelien häiriintyneiden massojen kaivaminen ja käsittely penkereen sivuilla on hankalaa ja kallista. Massoja on jätetty paikalleen penkereen sivuille kohteissa, joissa ympäristön maanpinnan

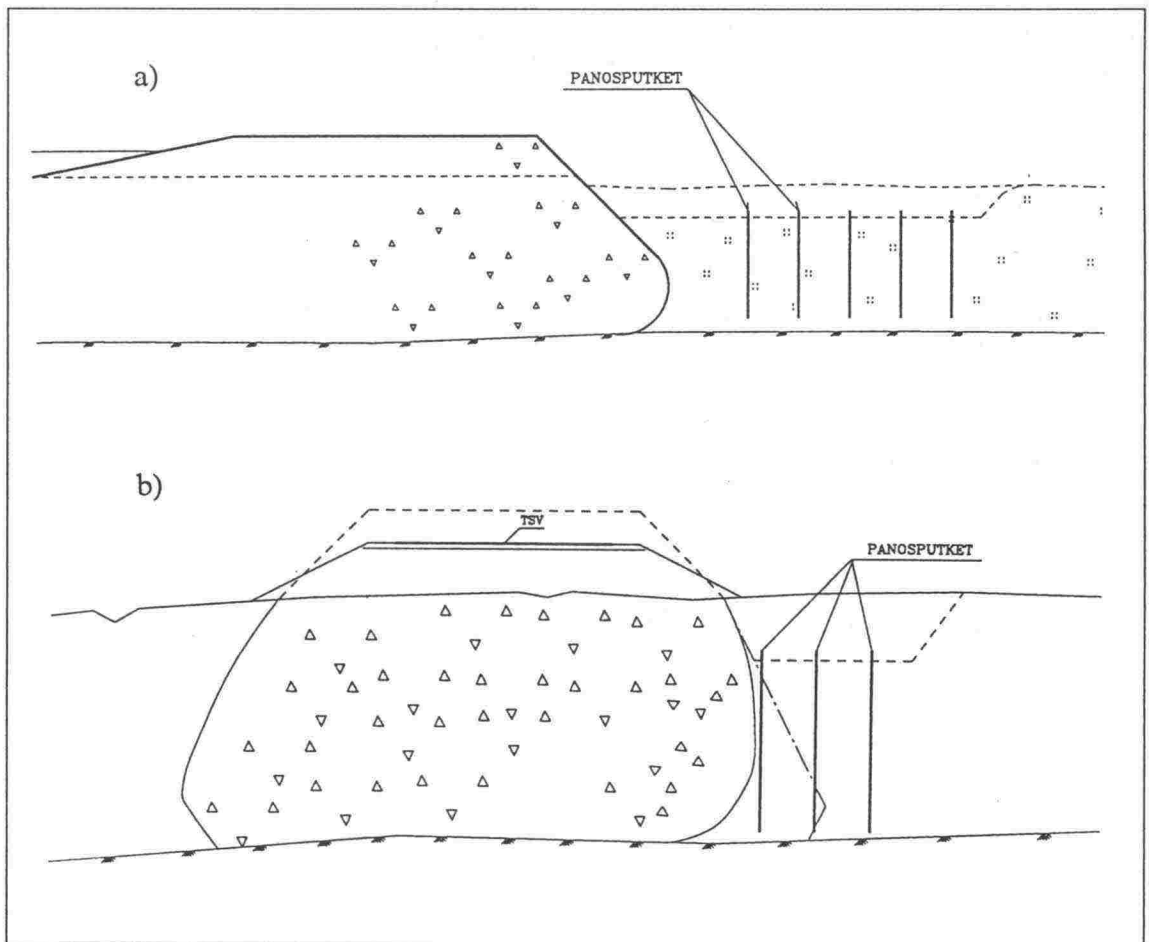
kohoamisesta ei ole ollut haittaa (mm. avosuot). Liikkuneiden alueiden rauhoittuminen esimerkiksi viljelykelpoiseen kuntoon vie muutamia vuosia ja niitä on tasattava ja muotoiltava useaan kertaan.

Osa ylös nousevista massoista menee louhepenkereen sisälle ja joissakin tapauksissa massat pursuavat jopa penkereen läpi. Läpi pursuamisen vaara on suurin matalissa penkereissä, joissa tien tasaus on lähellä maanpintaa. Näissä tapauksissa on pengertä kaivettava jälkikäteen ja korvattava routivaksi muuttunut pintakerros routimattomalla rakenteella.

Ylös ja sivuille nousseet massat voidaan yleensä poistaa samalla kalustolla kuin alkukaivannon massat. Tarvittaessa päästään nosturi-kourakauhayhdistelmällä useiden kymmenien metrien ulottuvuuksiin.

4.4 Räjäytykset

Pohjaantäytössä voidaan käyttää apuna räjäytyksiä joko pehmittämällä maaperä etukäteisräjäytyksin (kuva 9a) tai toteutetun penkereen korjaamiseen tekemällä räjäytyksiä penkereen sivuilla (kuva 9b). Penkereen alla räjäytyksiä on käytetty harvoin.



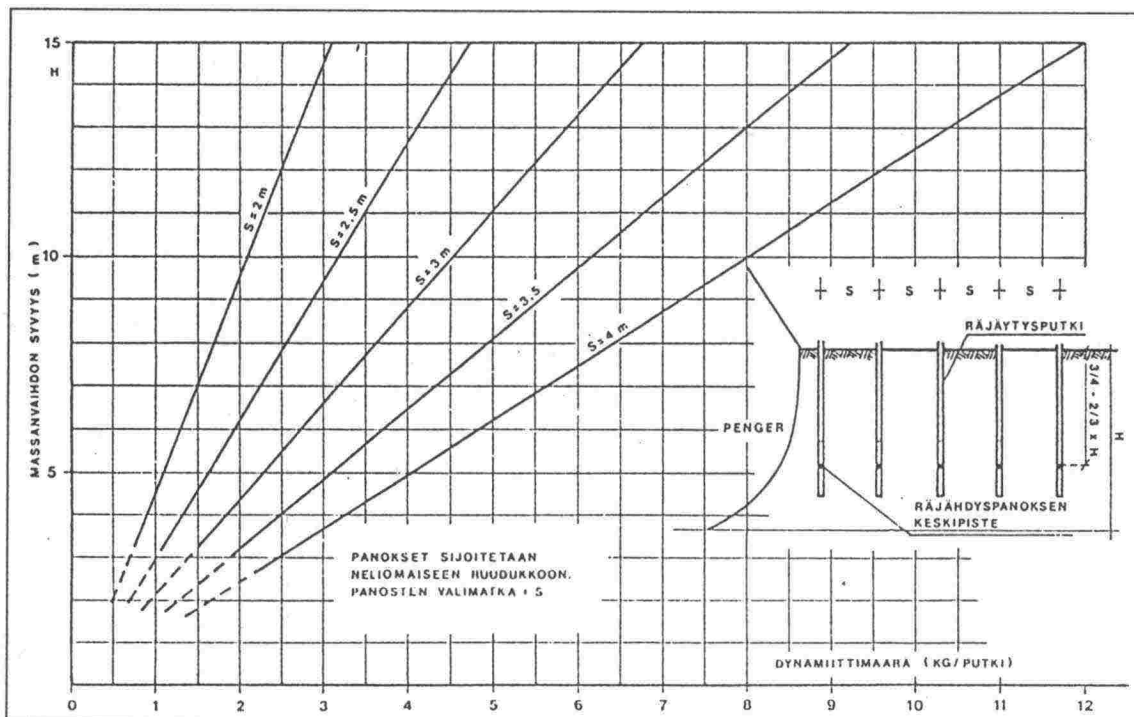
Kuva 9: a) Räjäytykset penkereen edessä.
b) Räjäytykset penkereen sivulla.

Pehmennysräjäytykset penkereen edessä

Penkereen edessä räjäyttämisen tulee yleensä kysymykseen silloin, kun perusmaa on normaalia sitkeämpää savea. Pohjaantäyttö saadaan onnistumaan riittävään syvyyteen, kun perusmaan lujuutta on häiritty huomattavasti alkuperäisestä. Toisaalta räjäytykset ehkäisevät pengermassojen liukumista ja ryöstäytymistä sivusuunnassa. Myös pitkään keskeytyneenä olleen työn jatkamiseen on käytetty edessä räjäytyksiä. Räjäytysten teho on sitä suurempi, mitä sensitiivisempää perusmaa on.

Räjäytettäessä penkereen edessä panokset mitoitetaan ja sijoitetaan kuvan 10 mukaisesti. Panokset painetaan pehmeään pohjamaahan penkereen levyiselle alueelle käyttäen alapäästään suljettuja putkia (tavallisimmin teräksisiä tai muovisia vesijohtoputkia). Putkien painamisessa voidaan käyttää apuna esim. kaivinkonetta. Muoviputkia asennettaessa voidaan käyttää suojaputkea tai vesihuuhdelua. Tavallisin putkien etäisyys on 2...4 metriä.

Kerralla räjäytettävän matkan pituus määräytyy täytön etenemisen perusteella. Täyttöpengermassat on ajettava räjäytetylle alueelle noin viikon kuluessa, jotta rikutun alueen lujuus ei ehdi palautua. Tavallisimmin kerralla räjäytettävä matka on 10...30 metriä. Panosten räjähdyskeskipisteiden etäisyyden on oltava maanpinnasta tai kaivannon pohjasta lukien $2/3...3/4$ vaadittavasta täyttösyvyydestä. Dynamiittia käytetään noin 50 g syrjäytettävää maakuutiometriä kohti. Penger ajetaan räjäytetylle alueelle täysikorkeana päätypenkereenä kuten normaalissa pohjaantäytössä.



Kuva 10: Räjähdyspanoksen mitoitusnomogrammi ja panosten sijoituskaavio räjäytettäessä penkereen edessä.

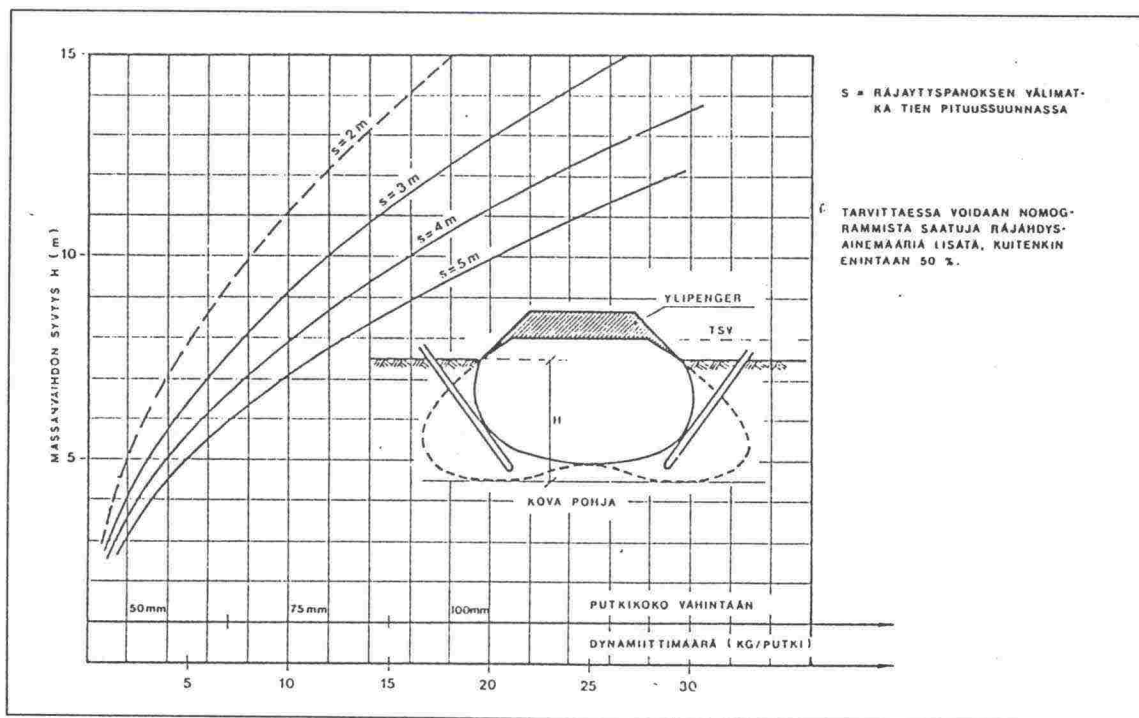
Muotoräjätykset penkereen sivulla

Penkereen reunojen painumisen ja leviämisen edistämiseksi suunnitelmassa esitettyyn muotoon tarvitaan joissakin tapauksissa räjäytyksiä penkereen sivuilla. Penkereen muoto pyritään saamaan niin vakaaksi, ettei sivuilla tapahtuva painuminen aiheuta vaurioita ajoradan pinnassa. Usein penkereen maanalainen osa jää liian pystyksi ja helmojen alle jää kokoonpuristuvaa maata.

Penkereen muotoa voidaan korjata yhdellä tai useammalla penkereen sivulla suoritettulla räjäytyksellä. Räjähdyspanokset työnnetään alapäästään suljetuissa putkissa mahdollisimman syväälle epästabiliin luiskan juuren alle putkien välin ollessa tien pituussuunnassa 2...5 metriä. Penkereen tai ainakin sen reunojen on oltava ylipenkereen kuormittama. Tarvittava räjähdyssainemäärä riittävän sysäysenergian aikaansaamiseksi on 100...150 g maakuutiometriä kohti. Räjähdyspanoksen mitoitus on esitetty kuvassa 11. Kerralla räjäytettävän penkereen pituus vaihtelee tavallisesti 20...100 m.

Räjäytyksen vaikutuksesta penkereen reunat painuvat ja jälkipainumien vähentämiseksi on painumat räjäytysten jälkeen korjattava lisäämällä ylipenkereen korkeutta painumia vastaavalla määrällä. Räjäytyksiä saatetaan joutua suorittamaan useita kertoja halutun pengermuodon saavuttamiseksi.

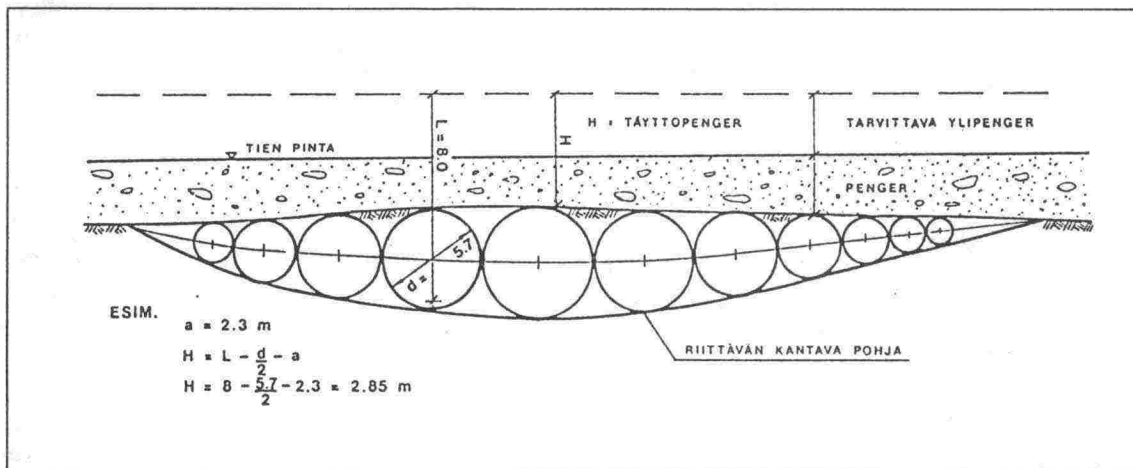
Edellä kuvatun kaltaisella menetelmällä voidaan räjäytyksiä suorittaa myös penkereen edessä, mikäli penkereen kärjen alle jää pehmeää perusmaata, jota ei voida poistaa penkereen päältä kaivamalla. Näin voi tapahtua varsinkin pehmeikköjen päissä ylämäkeen pengerrettäessä sekä pengerten kohdatessa keskellä pehmeikköä tapauksessa, jossa työ on aloitettu samanaikaisesti pehmeikön molemmilta reunoilta.



Kuva 11: Räjähdyspanosten mitoitusnomogrammi räjäytettäessä penkereen sivuilla.

Korjausräjäytykset penkereen alla

Räjättäminen penkereen alla soveltuu käytettäväksi silloin, kun vanha tiepenger halutaan upottaa riittävän kantavaan pohjaan tai kun pohjaantäyttöpenger on jäänyt kellumaan pehmeän pohjamaan varaan. Parhaiten menetelmä soveltuu kapeissa penkereissä. Paras menetelmä on tällöin ylikuormitus ja voimakkaiden panosten sijoittaminen penkereen alle. Pohjamaa saadaan tällöin häirittyä edullisimmassa kohdassa ja voidaan käyttää hyväksi koko penkereen liike-energiaa sen noustessa räjäytyksen voimasta ylöspäin.



Kuva 12: Räjähdyspanoksen mitoitusnomogrammi räjäytettäessä penkereen alla. Räjähdykeskipisteiden määrittäminen.

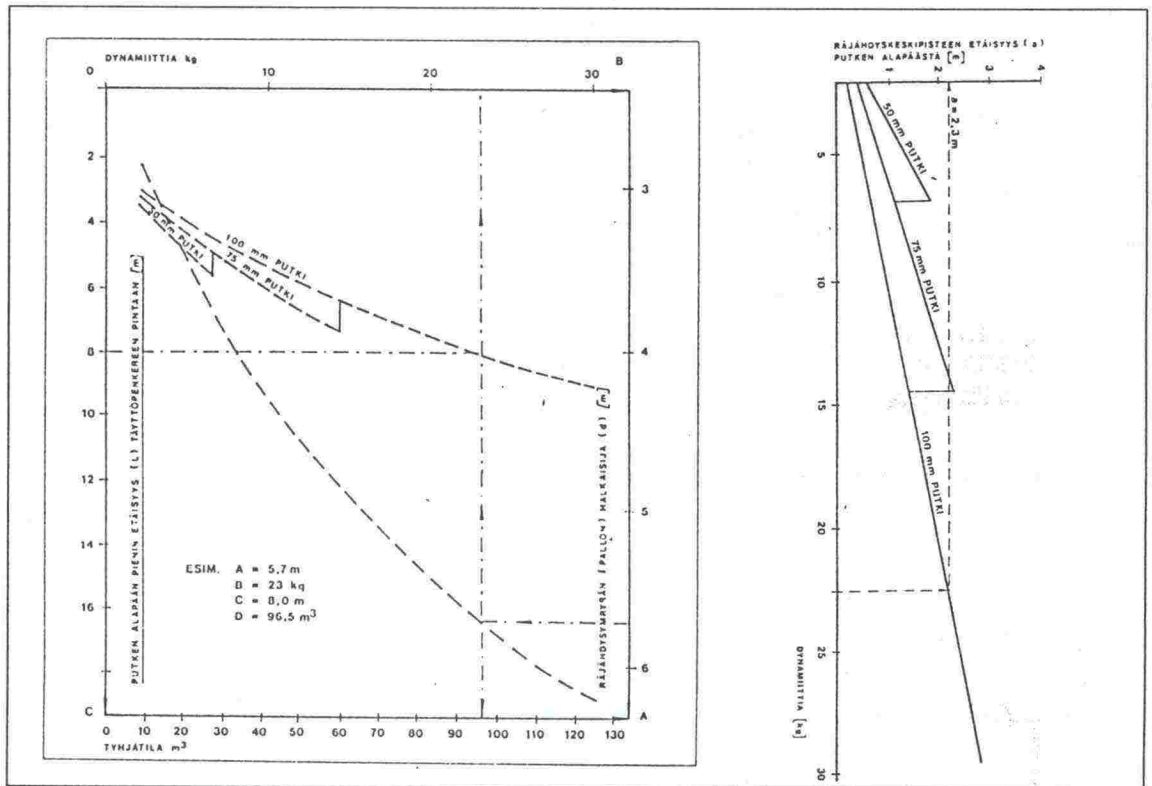
Menetelmän käytön edellytyksenä on, että ylipengervaiheen vakavuuden on oltava vähintään $F > 1.1$. Mikäli pengeri sortuu ennen räjäytystä, jäävät räjähtämättömät panokset maahan.

Panokset mitoitetaan kuvien 12 ja 13 mukaisesti. Räjähdyssaineputket joko asennetaan ennen pengermassojen ajoa tai lyödään penkereen läpi. Mikäli läpilyönti ei onnistu, voidaan putket lyödä penkereen sivuilta viistoon penkereen alle. Tarvittava räjähdysainemäärä on noin 150 g syrjäytettävää maakuutiometriä kohti.

Räjätysten käyttökelpoisuus

Räjätysten suorittaminen tienrakennustöissä ei vaadi erillistä lupamenettelyä eikä esimerkiksi meluilmoitusta ympäristöviranomaisille tarvitse tehdä. Mikäli ympäristössä on vaurioalttiita rakenteita, on tehtävä riskianalyysi, jonka perusteella määrätään mm. sallitut värinöiden raja-arvot.

Räjätysten suunnittelu vaatii huolellisuutta ja joskus niiden avulla saavutettu hyöty on jäänyt vähäiseksi. Syvissä pohjaantäytöissä räjäytyksillä voidaan varmistaa haluttu täyttösyvyys. Penkereen helman muotoa ei ole aina onnistuttu parantamaan. Penkereen alla ei ole juurikaan räjäytetty johtuen panosputkien asentamisen vaikeudesta sekä ennen aikaiseen sortumiseen liittyvistä riskeistä. Eräänä räjäytysten turvallisuuteen liittyvänä ongelmana on myös panosputkien sinkoutuminen ylös maasta räjäytyshetkellä. Joissakin kohteissa on räjäytykset tehty ilman panosputkia.



Kuva 13: Räjähdyspanoksen mitoitusnomogrammi räjäytettäessä penkereen alla. Räjähdyspanoksen mitoitus ja räjähdyskeskipisteen etäisyys putken alapäästä.

4.5 Ympäristö ja varottavat rakenteet

Ympäristövaikutukset ovat merkittävä näkökohta massanvaihdossa pengertämällä. Ympäristöhaittoja ovat toisaalta ympäristön maan liikkeet ja rakenteiden vauriot sekä toisaalta massojen kuljetuksista aiheutuneet haitat.

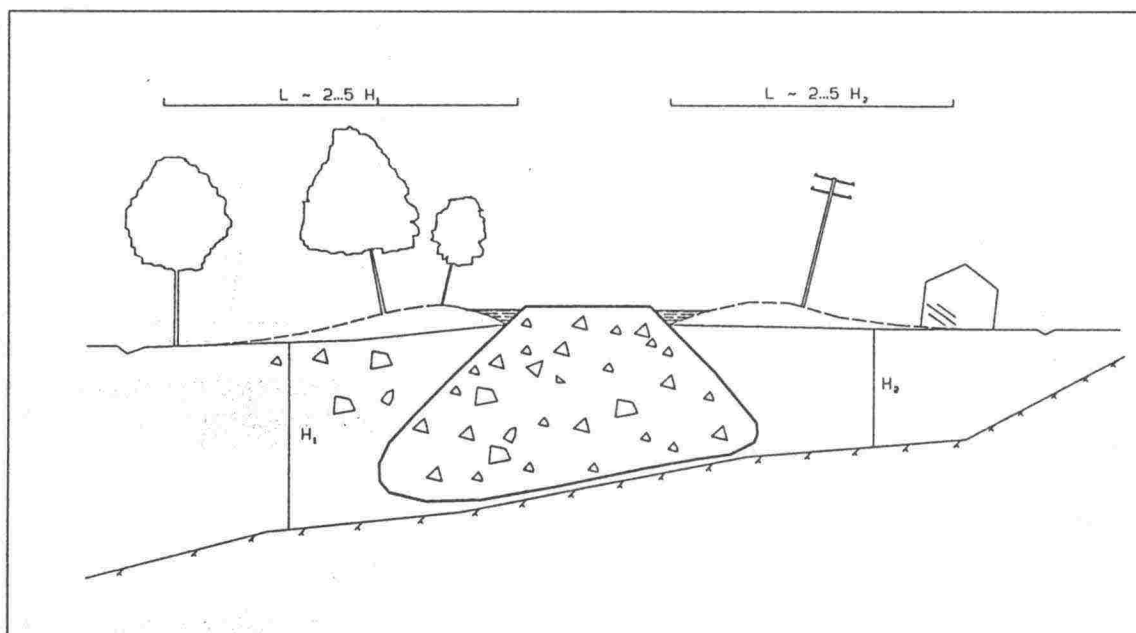
Laajoilla tasaisilla pehmeiköillä ei havaittavaa ympäristön maanpinnan nousua aina esiinny. Pengertäminen kapeilla pehmeiköillä tai sivukaltevissa olosuhteissa aiheuttaa sen sijaan liikkeitä penkereen sivuilla ja edessä. Maan liikkeet tapahtuvat yleensä maanpinnan alapuolella ja tulevat esiin mm. puiden kallistumisena tai kivien nousuna pellolle (kuva 14). Sivulle ryöstäytymisen riski on suurin pohjasuhteissa, joissa savikerrokset rajoittuvat suoraan voimakkaasti viettävään kallionpintaan. Tällöin voidaan harkita porraslouhinnan käyttöä.

Vaikutusalueen laajuudeksi pengerryksen reunasta voidaan yleensä arvioida 2...5 kertaa täyttösyvyys, mutta joissakin tapauksissa maan liikkumista ja vaurioita on tapahtunut jopa satojen metrien päässä pengerrykskohteesta. Vaikutusalueen laajuus on voimakkaasti riippuvainen pehmeikön paksuudesta ja haittoja voidaan rajoittaa merkittävästi työmenetelmillä. Alkukaivannon tulee olla mahdollisimman syvä. Ylös kohoavien massojen kaivua tehostamalla voidaan ympäristön liikkeitä pienentää.

Räjäytyksiä voidaan käyttää vain ympäristön kannalta turvallisissa olosuhteissa. Tehokas räjäyttäminen vaatii samanaikaista sytytystä eikä ympäristön kannalta turvallisemmalla momentaanisella räjäytyksellä saada aikaan tarvit-

tavaa voimaa. Räjäytykset voidaan monesti korvata huolellisilla työmenetelmillä ja esimerkiksi penkereen muodon korjaaminen onnistuu useimmissa tapauksissa kaivamalla penkereen sivulta.

Mikäli varottaviin rakenteisiin on varauduttu etukäteen, ne eivät yleensä aiheuta ongelmia massanvaihdolle. Vaurioille alttiit rakenteet ja rakennukset voidaan suojata esim. ponttiseinän avulla. Vesi- ja viemäriputket on yleensä ohitettava tilapäisjärjestelyin kuten siirroin tai pumppaamalla. Kaapelit kaivetaan esiin ja siirretään työn ajaksi sivulle. Myös voimalinjojen suojauksesta tulee huolehtia. Salaojitettujen peltojen osalta on katkaistut salaojat tulpattava ja vaurioituneet rakenteet korjattava. Kaukolämpö- ja maakaasuputket ovat ongelmallisia jäykän rakenteensa vuoksi. Tarkkailtavia rakenteita varten tehdään ennen pengertämistä tarkkuusmittausverkosto.



Kuva 14: Pohjaantäytön ympäristövaikutukset.

4.6 Liittyvät rakenteet ja vanhan penkereen leventäminen

Pohjaantäyttöihin liittyvät rakenteet kuten rummut, putket, ojat jne. rakennetaan yleensä jälkikäteen penkereen rauhoituttua. Syväälle korkeiden penkereiden alle jäävät rummut voidaan rakentaa samanaikaisesti pengerryksen kanssa. Jälkipainumiin ja penkereen liikkeisiin varaudutaan ylivoimalla rummut. Veden kulku työn aikana hoidetaan joko ohituksin, pumppauksin tai padotuksin.

Penkereen alkupäässä liikutaan paljon työn aikana ja kohta häiriintyy helposti etenkin, mikäli penkereen pää ei rajoitu kantavaan maahan. Tarvittaessa massanvaihdon päät kaivetaan auki ja rakennetaan siirtymärakenteet uudelleen työn loppuvaiheessa.

Sivu- ja laskuojien rakentaminen pohjaantäytön yhteydessä on joskus hankalaa. Ojista tulee suunnitelmissa esitettyjä syvempiä maanpinnan kohotessa ja

häiriintyessä penkereen sivuilla. Joskus oja joudutaan tekemään moneen kertaan luiskien sortuessa ojiin.

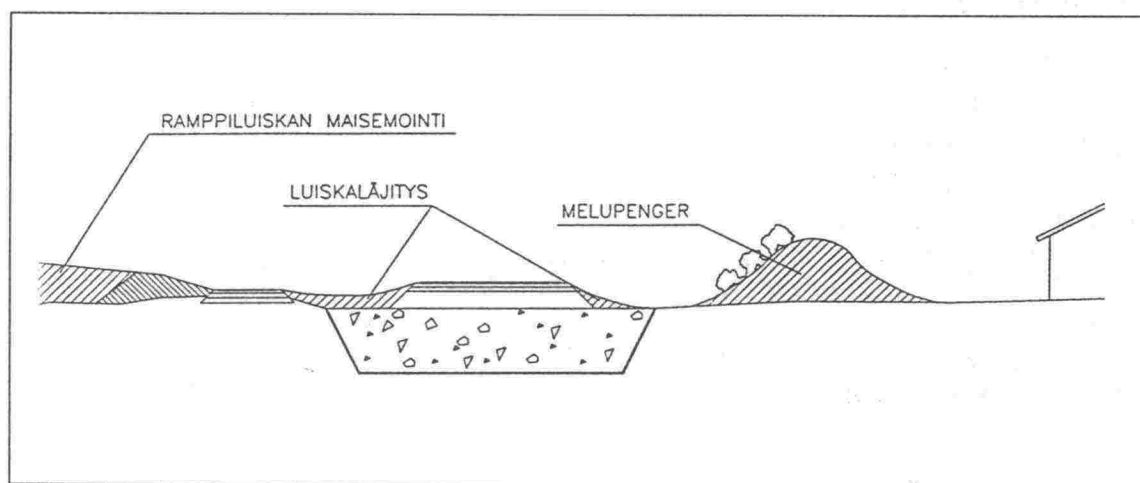
Yhä useammin eteen tuleva ongelma on tiepenkereen leventäminen massanvaihdon varaan perustetun tien vieressä. Hankaluutena voi olla riittävän vakavuuden turvaaminen vanhalle tiepenkereelle kaivuvaiheen aikana sekä täyttömassojen saaminen tunkeutumaan tavoitesyvyyteen ilman, että maan syrjäytymisestä aiheutuu vaurioita olemassa olevalle tielle. Turvallisuuksista on näissä tapauksissa yleensä järjestetty liikenteelle kiertotie, mutta joissakin tapauksissa liikenne on kulkenut vanhaa ajorataa pitkin työkohteen ohi. Ohittavan liikenteen järjestelyt vaikuttavat käytettävissä olevaan työskentely- ja ylipengertilaan. Valmiin tien sortumisvaaraa voidaan pienentää myös vanhan penkereen reunaan lyödyllä ponttiseinällä.

Joskus voi jo hankkeen suunnitteluvaiheessa olla tiedossa, että massanvaihtoalueelle on tulossa esim. toinen ajorata. Tällöin tulee suunnittelun yhteydessä harkita, kannattaako massanvaihto ulottaa jo ensimmäisessä vaiheessa levennyistä varten. Suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja ovat mm. hankkeen massatilanne, levennyksen toteutumistodennäköisyys ja -ajankohta, myöhemmästä leventämisestä aiheutuvat lisähankaluudet sekä valmiin tien vaurioitumisriski.

5 LÄJITYKSET

5.1 Tierakenteet

Läjitysmassoja pyritään sijoittamaan tien välittömään läheisyyteen mahdollisimman paljon luiskaloivennuksina sekä maisemanhoidollisina täyttöinä (kuva 15). Läjitysmassoja käytetään maisemanhoidollisina täyttöinä mm. moottorieramppien luiskissa reunapenkereillä vahvistettuna. Reunapenkereissä voidaan käyttää kuivakuorisavea. Myös melusuojapenkereet soveltuvat läjitysmassoille.



Kuva 15: Läjitysmassojen sijoitus tien läheisyyteen luiskaloivennuksina, maisemanhoidollisina täyttöinä ja melupenkereissä.

Luiskaläjitys on kustannuksiltaan edullisin läjitystapa. Luiskaläjitystä voidaan käyttää etenkin pidemmällä massanvaihto-osuuksilla kauempana penkereen

kärjestä, jolloin läjitystyöstä itse massanvaihtotyölle aiheutuvat haitat jäävät pienemmiksi. Myös moottoritien keskikaista soveltuu läjitykseen. Ongelmana ovat läjitysmassojen pengertä likaava vaikutus ja huono käsiteltävyys. Kuivakuorta sekä siltisiä massoja on joissakin tapauksissa läjitetty penkereen läheisyyteen välivarastoon. Massojen käsiteltävyys paranee ajan myötä ja hyötykäyttö luiskaverhouksissa tai kauemmas kuljettaminen on helpompaa myöhemmin. Tulevaisuudessa vetelien massojen soveltuvuus hyötykäyttöön tulee lisääntymään massastabilointimenetelmien kehittyessä.

5.2 Erilliset läjitykset

Suurin osa kaivettavista massoista on käyttökelvotonta ja on näin ollen sijoitettava erillisille läjitysalueille. Vetelät läjitysmassat eristetään ympäristöstä pysyviksi rakenteiksi mitoitetuilla reunapenkereillä. Alueet muotoillaan lopulliseen asuunsa 1...2 vuoden kuluttua, jolloin alueella liikkuminen on helpompaa massojen kuivuttua. Läjityspaikalla tarvittavaa työtä ovat ajoteiden rakentaminen ja kunnossapito, padotusten teko sekä viimeistelytyöt.

Parhaita läjitysalueita ovat notkelmat ja kallioalueet (esim. avolouhokset). Etuna kallioalueelle tai louhokseen läjitettäessä on kantava pohjamaa sekä alueen saaminen myöhemmin hyötykäyttöön (metsitys). Vanhat sorakuopat olisivat teknisesti erinomaisia läjitysalueita, mutta niiden saaminen läjityskäyttöön on usein hankalaa ympäristösyistä. Savissa olevat merisuolat saattavat pilata pohjaveden tai täyttö saattaa muodostaa esteen pohjaveden muodostumiselle.

Ympäristövaikutuksia voidaan estää suunnittelutoimenpiteillä ja myös sora-kuoppien käyttö on mahdollista huolellisesti suunniteltuna ja toteutettuna. Esimerkiksi Tampereen Itäisellä ohikulkutiellä massat (noin 2 milj.m³) on läjitetty pohjavesialueella sijaitsevan sorakuopan alueelle. Kuopan pohja on eristetty ja suotovedet johdetaan pohjavesialueen ulkopuolelle. Pintavedet imeytetään louhesilmäkkeiden avulla täyttömassojen läpi pohjavedeksi. Työn yhteydessä alue muotoillaan alkuperäistä harjumaisemaa muistuttavaksi.

5.3 Läjityksien suunnittelu

Läjityksien suunnittelu on tärkeä osa massanvaihtojen suunnittelua ja siksi läjitysalueet tulee aina suunnitella etukäteen. Suunnittelussa otetaan huomioon teknisten seikkojen lisäksi maisemalliset ja luonnonsuojeluun liittyvät näkökohdat. Luvat ja alueet on hankittava hyvissä ajoin ennen rakentamista. Suunnittelun yhteydessä selvitetään myös kuljetusyhteydet ja -matkat. Läjitetessä kuntien kaatopaikoille on otettava huomioon jätemaiden käsitelymaksut massanvaihdon taloutta arvioitaessa. Läjitysalueesta laaditaan ennen käyttöönottoa käyttö- ja viimeistelysuunnitelma.

Läjitysalueen suunnittelussa on selvitettävä maapohjan kantavuus pohjatutkimuksella ja otettava huomioon alueella olevat kuivatusojat ja virtausolosuhteet. Kuivatus on järjestettävä niin, että luonnontilaiset kuivatusolosuhteet säilyvät. Pintavesien ja läjitysmassojen valuminen ympäristöön on estettävä. Myös läjitysalueella työskentelevien henkilöiden työturvallisuus on otettava huomioon.

5.4 Kuljetusten huomioonotto suunnittelussa

Massanvaihtotöissä kuljetukset muodostavat menetelmän kustannuksista merkittävän osan ja kuljetusyhteyksiä tulee tarkastella jo suunnittelun yh-

teydessä sekä läjitys- että täyttömassojen osalta. Kuljetusten merkitys maanrakennustöissä kasvaa, sillä toisaalta maanotto- ja läjitysalueet ovat yhä kauempana työkohteista ja toisaalta kaivu- ja louhintatyön yksikkökustannukset ovat alentuneet menetelmien kehittyessä.

Tavanomaiset kuljetusetäisyydet vaihtelevat muutamista sadoista metreistä useisiin kymmeneen kilometriin. Kuljetusten saaminen suljetulle työmaa-alueelle vähentää kuljetuskustannuksia jopa 50 %. Rakennetuilla alueilla tämä ei ole useinkaan mahdollista ja kuljetukset yleisillä teillä tai niiden poikki saattavat vaikuttaa ratkaisevasti menetelmän tekniseen toteutustapaan.

Kaupunkialueella voi lyhyistäkin työmaan sisäisistä siirtoetäisyyksistä kasvaa huomattavia. Linnuntietä mitattuna sadan metrin siirrosta voi tulla kilometrien matka, mikäli joudutaan liikennöimään eritasoliittymien kautta eikä esimerkiksi moottoritien poikkikulkemista voida ajatella turvallisuussyistä. Liikenteelle aiheutuvia haittoja voidaan vähentää välttämällä kuljetuksia ruuhka-aikoina.

6 MASSATALOUS

6.1 Hanketasoinen tarkastelu

Suuret massanvaihdot ovat hankkeen massatalouden kannalta keskeisiä kohteita. Massanvaihtojen suunnittelu kytkeytyy läheisesti koko hankkeen massatalouden suunnitteluun, kun tien linjaukselle ja tasaukselle haetaan edullisinta paikkaa. Tien suuntauksen ja tasauksen muutoksilla voidaan tyydyttää massanvaihtojen massatarvetta. Massanvaihtojen ajoitukseen vaikuttavat toisaalta leikkausmassojen saaminen pengerryksiin ja toisaalta massanvaihtojen vaatima painuma-aika. Massanvaihtojen yksityiskohtia suunnitellessa on otettava huomioon täyttömassojen tuontisuunnat.

6.2 Kohdekohtainen tarkastelu

Työkohteen massataloudellinen suunnittelu on lähinnä massojen siirron ja käsittelyn suunnittelua sekä rakennussuunnittelu- että työnsuunnitteluvaiheissa. Kohteen massansiirtosuunnitelmaa tehtäessä huomioon otettavia seikkoja ovat pohjasuhteet, olemassa olevat ja rakennettavat työmaatiet, työn ajoitus, massojen laatu, käytettävä työmenetelmä ja koneresurssit sekä erikoisrakenteiden asettamat rajoitukset.

Tavoitteena suunnittelussa on optimoida massansiirtokustannukset. Tämä edellyttää sitä, että tarpeetonta massojen käsittelyä (esim. välivarastointia) ei tehdä ja kaikki käyttökelpoiset massat käytetään oikein. Massanvaihtojen yhteydessä on esimerkiksi ylipenkereessä käytetyt massat järkevää saada hyötykäyttöön hankkeen myöhemmässä vaiheessa.

Massanvaihtokohteet pyritään toteuttamaan hankkeen alkuvaiheessa pitkien painuma-aikojen vuoksi. Tämä ei ole kuitenkaan aina mahdollista, sillä massanvaihtoihin varatut kalliomassat saattavat olla muihin kohteisiin menevien pengermassojen alla. Myös massanvaihtokohteeseen pääsy voi olla mahdotonta ennen kuin kulkuyhteys on rakennettu joko tielinjaa tai työmaatietä pitkin.

7 TYÖNAIKAISET TARKKAILUMITTAUKSET

7.1 Työnsuorituksen ja lopputuloksen valvonta

Materiaalimenekki

Materiaalimenekin tarkkailu on keskeinen massanvaihdon ja erityisesti pohjaan-täytön seurannan menetelmä. Täyttömassojen menekkiä voidaan seurata kuvan 16 mukaisen massamenekkiäyrän avulla. Toteutunut massamenekki mitataan esimerkiksi laskemalla ajoneuvokuormat tai seuraamalla leikkaus-massojen määrää. Toteutunutta massamenekkiä verrataan suunnitelman perusteella arvioituun menekkiin.

Suunnitellussa ja toteutuneessa massamenekissä havaittujen erojen syyt on selvitettävä ja tarvittaessa muutettava työmenetelmää tai korjattava suunnitel-mia. Arvioitua suurempaan massamenekkiin voi olla syynä mm. massojen tunkeutuminen tavoitetasoa syvemmälle, pohjatutkimuksen epätarkkuus, massojen liukuminen sivulle sivukaltevassa paikassa tai maanalaisten luiskien leviäminen suunniteltua loivemmiksi. Suunniteltua merkittävästi pienempään massamenekkiin voi olla syynä massojen jääminen tavoitetasoa ylemmäs, kairausten väliset kalliokehäumat tai luiskien jääminen liian jyrkiksi. Toteutetuissa hankkeissa on massamenekki yleensä ollut jonkun verran arvioitua suurempi.

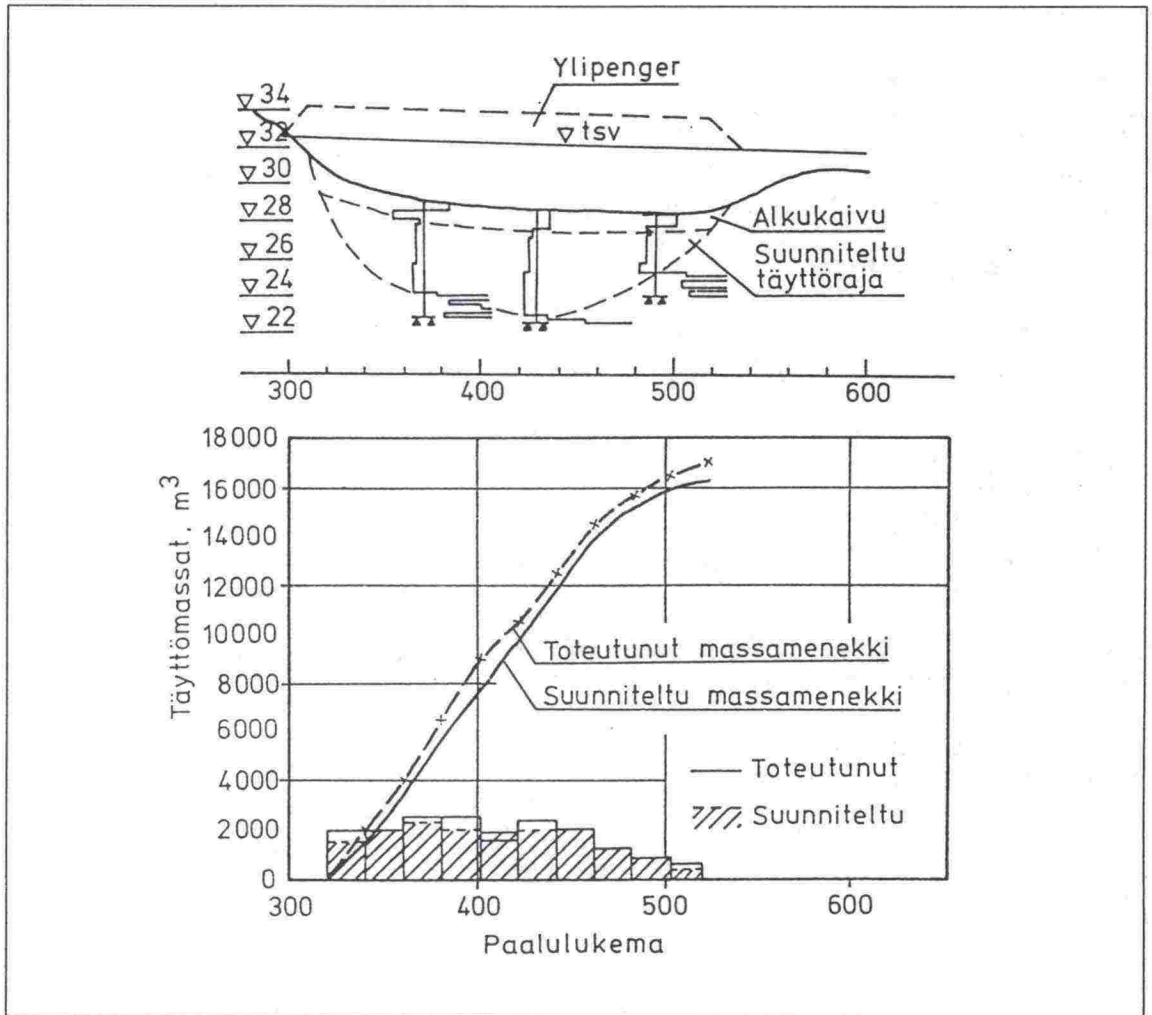
Painumat

Massanvaihtopenkereiden painumia voidaan seurata painumatarkistimien, poikkileikkausvaaitusten tai painumaletkujen avulla (kuva 17).

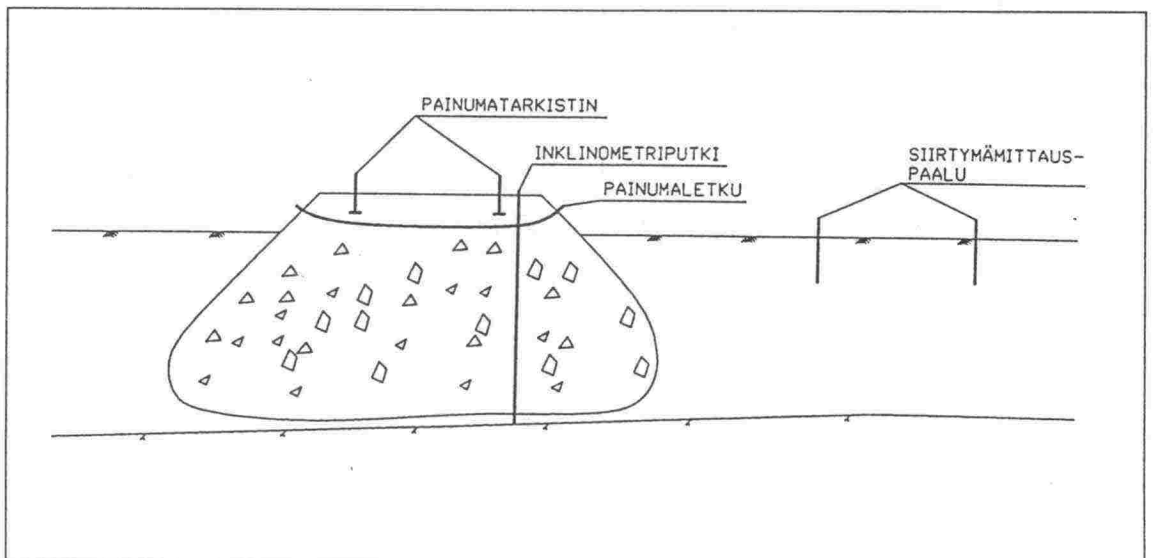
Painumatarkistimet asennetaan suunnitelmissa osoitettuihin poikkileikkauksiin. Yksiajorataisella penkereellä tarkistimia asennetaan yleensä kumpaankin reunaan ja kaksiajorataisella penkereellä lisäksi penkereen keskiviivalle. Painumahavainnot tehdään välittömästi asennuksen jälkeen ja mittauksia suoritetaan aluksi tiheämmin (kuukauden ajan 2...3 kertaa viikossa) ja tämän jälkeen 1...2 kertaa kuukaudessa. Painumahavainnoista pidetään pöytäkirjaa sekä piirretään aikapainumakuvaaja. Mikäli kuormitusolosuhteet muuttuvat mittauspisteen ympäristössä (esim. ylipengertä korotetaan), havainnot teh-dään ennen ja jälkeen muutostyön. Painumatarkistimien vaurioitumisen ehkäise-miseksi ne varustetaan törmäyssuojalla.

Painumaletkuja voidaan käyttää rinnan painumatarkistimien kanssa. Letkulla saadaan jatkuva painumakuvaaja poikkileikkauksesta eikä se ole yhtä altis kuin painumatarkistin työkonoiden ja työmaaliikenteen aiheuttamille vaurioille.

Massanvaihdolle varatut painuma-ajat ovat kokemukseen perustuvia arvioita ja lopullisesti vaaditut painuma-ajat selviävät työnaikaisten mittausten perus-teella. Tavallisimmin varatut painuma-ajat ovat olleet 6...18 kk. Suunnitelmissa vaadituista painuma-ajoista on kuitenkin joskus jouduttu tinkimään työmaalla. Ajoista on tingitty esimerkiksi tapauksissa, joissa päällystystyöt olisivat muu-toin siirtyneet seuraavalle päällystyskaudelle. Suuria painumavaurioita ei ole kuitenkaan yleensä esiintynyt ja pienet vauriot on voitu korjata päällystettä paikkaamalla. Betonipäällysteisillä teillä jälkipainumat ovat haitallisempia ja hankalammin korjattavissa.



Kuva 16: Massamenekin tarkkailu massamenekkikäyrällä.



Kuva 17: Painumien ja siirtymien seuranta massanvaihtopenkereissä.

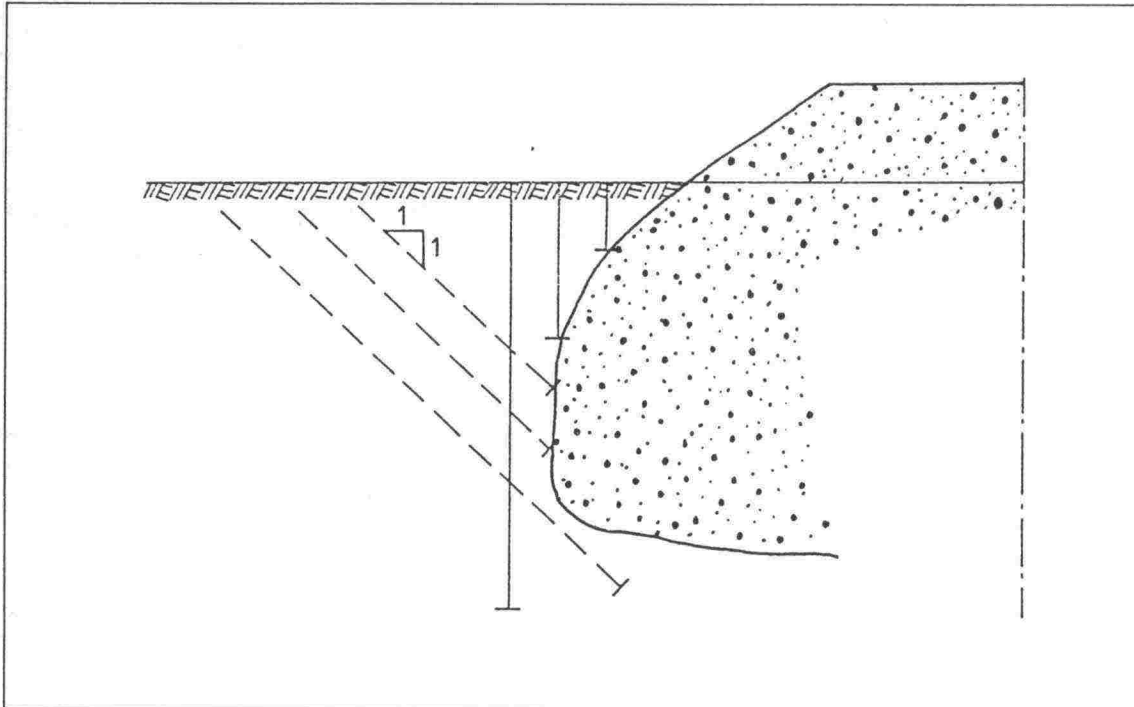
Sivusiirtymät

Sivusiirtymiä on massanvaihtojen yhteydessä mitattu lähinnä sillan päätypenkereissä, vanhojen penkereiden levennyksissä sekä sivukaltevissa paikoissa. Mittaukset on tehty inklinometriputkilla. Suuria sivusiirtymiä ei ole yleensä havaittu. Vanhan penkereen vieressä levitetyn massanvaihdon aiheuttamat sivusiirtymät paljastuvat yleensä asfaltin repeämisenä.

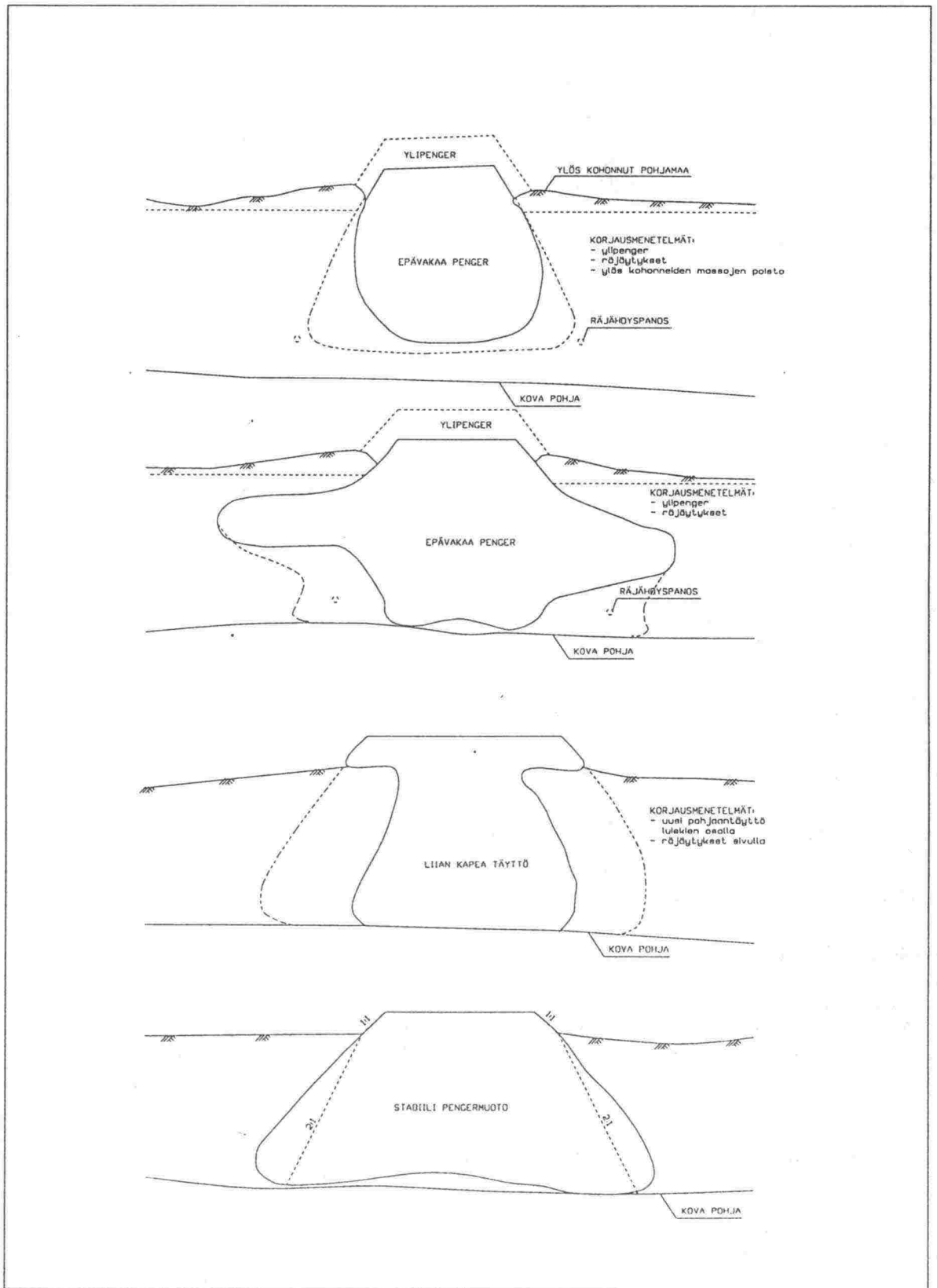
Poikkileikkausmuoto

Pohjaantäyttöpenkereen poikkileikkausmuodon selvittämiseksi voidaan penkereen sivulta tehdä tunnustelukairauksia kuvan 18 mukaisesti. Pystysuorilla ja kaltevilla kairauksilla pyritään ääni- ja tuntuhavaintoihin perustuen selvittämään täytön ja pehmeän perusmaan rajapinnan sijainti. Kairausten suorittaminen häiriintyneeltä maalta penkereen sivulta on hankalaa, ja yksittäisen lohkarren erottaminen varsinaisesta penkereestä on vaikeaa ja vaatii kokenutta kairaajaa. Kairaustulosten perusteella päätetään mahdollisten korjaustoimenpiteiden (esim. sivulla räjäytysten) tarve. Kairaustyön vaikeuden ja epävarman tulkinnan vuoksi niitä on käytetty melko vähän ja vain epävarmoissa tapauksissa esimerkiksi silloin, kun massameneikki on jäänyt arvioitua pienemmäksi. Penkereen läpi kairauksia ei ole juurikaan tehty, koska kairaustangot takertuvat helposti lohkarren väliin.

Pohjaantäyttöpenkereiden tavanomaisimpia muotoja sekä niiden parantamiseksi soveltuvia menetelmiä on esitetty kuvassa 19.



Kuva 18: Massanvaihtopenkereen muodon selvittäminen tunnustelukairauksilla.



Kuva 19: Pohjaantäyttöpenskereiden tavallisimmat muodot sekä niiden parantamiseen soveltuvat menetelmät.

Maatutkaluotausta on käytetty jonkun verran massanvaihtokohteissa. Valmiita massanvaihtopenkereitä on luodattu täyttösyvyyden toteamiseksi. Ongelmana on ollut tulkinnan epävarmuus, sillä maatutka-aallot pysähtyvät louheen väliin pursunneeseen saveen. Kaivamalla tehdyissä massanvaihoissa tätä ongelmaa ei ole, mutta toisaalta tarve luotausten tekoon on pienempi menetelmän pohjaantäyttöä paremman varmuuden vuoksi. Osittaisissa massanvaihoissa tehdyissä luotauksissa on havaittu, että massat ovat usein tunkeutuneet tavoitetasoa syvemmälle.

7.2 Varottavat rakenteet

Työalueella olevien rakenteiden, putkien ja johtojen sijainti selvitetään ennakolta, jonka jälkeen ratkaistaan käytettävä suojaustapa. Varottavien rakenteiden riskikartoitus on syytä tehdä louhintasuunnitelmaa vastaavasti. Kartoitusetäisyytenä voidaan tavallisesti käyttää 100...200 metriä penkereen reunasta.

Mikäli massanvaihtopenkereen läheisyydessä on vaurioitumiselle alttiita rakenteita, kuten rakennuksia, voimajohtopylväitä, kaapeleita tai putkia, on pengerryksen ja rakenteiden väliin syytä tehdä mittalinja tai muu kiintopiste, jonka liikkumista seurataan työn aikana. Varottavan rakenteen nurkkapisteiden tms. paikat mitataan ja vaaitaan. Ennen töiden aloittamista pidetään rakenteiden kuntoa koskeva katselmus, jossa rakenteiden omistajat ovat paikalla.

Lähistön kaivoista selvitetään ennen töiden aloittamista veden pinta sekä tarvittaessa antoisuus ja veden laatu. Työn aikana tarkkaillaan töiden vaikutusta alueen pohjavesioloihin.

8 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Massanvaihto ja ympäristövaikutukset

Massanvaihtotöissä muutetaan merkittävästi olemassa olevaa ympäristöä tie-, läjitys- ja maanottoalueilla. Ympäristövaikutukset voivat olla luonteeltaan pysyviä tai tilapäisiä. Ympäristö saattaa vaikuttaa etenkin rakennetulla alueella toimittaessa ratkaisevasti pohjanvahvistustavan valintaan.

Keskeisimmät ympäristövaikutukset

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

Vuodenajoista riippuvat ympäristövaikutukset

Vuodenajoista talvi on edullisin ajankohta massanvaihtojen toteutukselle. Pakkasesta on hyötyä luiskien pysyvyyden sekä kaivu- ja läjitystyön kannalta. Kaivumassojen ympäristöä likaava vaikutus on vähäisempää. Vetelien läjitysmassojen likaava vaikutus on suurimmillaan syysateilla. Kesällä kuljetusteille ja ympäristöön leviävät massat kuivahtavat nopeasti, mutta pölyävät.

Maanotto

Sekä taloudellisista että ympäristöllisistä syistä on edullista, mikäli massanvaihdossa käytettävät täyttömassat saadaan tielinjalta. Maanottopaikoista aiheutuviin ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa huolellisella suunnittelulla, jossa otetaan huomioon mm. työnaikainen maastonmuotoilu sekä alueen jälkihoito ja -käyttö.

Vesistöt

Vesistöjä ylitettäessä voivat pengermateriaalissa olevat hienoainekset johtaa veden tilapäiseen samentumiseen yhdessä pengerryksen pohjasta irrottaman aineksen kanssa. Vesistöalueilla on massanvaihtotöiden yhteydessä jouduttu ratkaisemaan lintualue- ja kalakorvauskysymyksiä. Veden samentuminen saattaa aiheuttaa ongelmia myös puunjalostusteollisuuden vedenottamoiden läheisyydessä.

Imuruoppauskohteissa ovat ongelmina ruoppausmassojen sijoitus, veden sokeutumisen ja saostusaltaasta valuvat ylivuotovedet. Työt tehdään useimmiten kesäaikana, jolloin veneily-, kalastus- ja muu virkistystoiminta on vilkkaimmillaan.

Pohjavedenpinnan aleneminen

Pohjavedenpinnan laskusta kaivutöiden yhteydessä voi olla seurauksena kaivojen kuivumista, painuma-, lahoamis- ja korroosiovaurioita, kasvun hidastumista sekä kasvillisuuden muuttumista. Joissakin tapauksissa vaikutus kasvillisuuteen voi olla hyödyllinenkin.

Maan liikkeet

Pengertäminen pehmeiköllä aiheuttaa maan liikkeitä penkereen sivuilla. Maanpinnan kohotessa puut kallistuvat ja kaatuilevat sekä kuivatusolosuhteet muuttuvat. Maan pinnan rikkoutuessa siirtynyt alue muuttuu liikkumiskelvottomaksi. Liikkuneen alueen rauhoittuminen kestää muutamia vuosia. Häiriintyneen alueen laajuuteen voidaan merkittävästi vaikuttaa työmenetelmillä. Ympäristön rakenteille aiheutuvat vauriot voidaan välttää selvittämällä rakenteet riittävän laajalta alueelta etukäteen ja käyttämällä huolellista rakentamistapaa.

9 KALUSTO MASSANVAIHTOTÖISSÄ

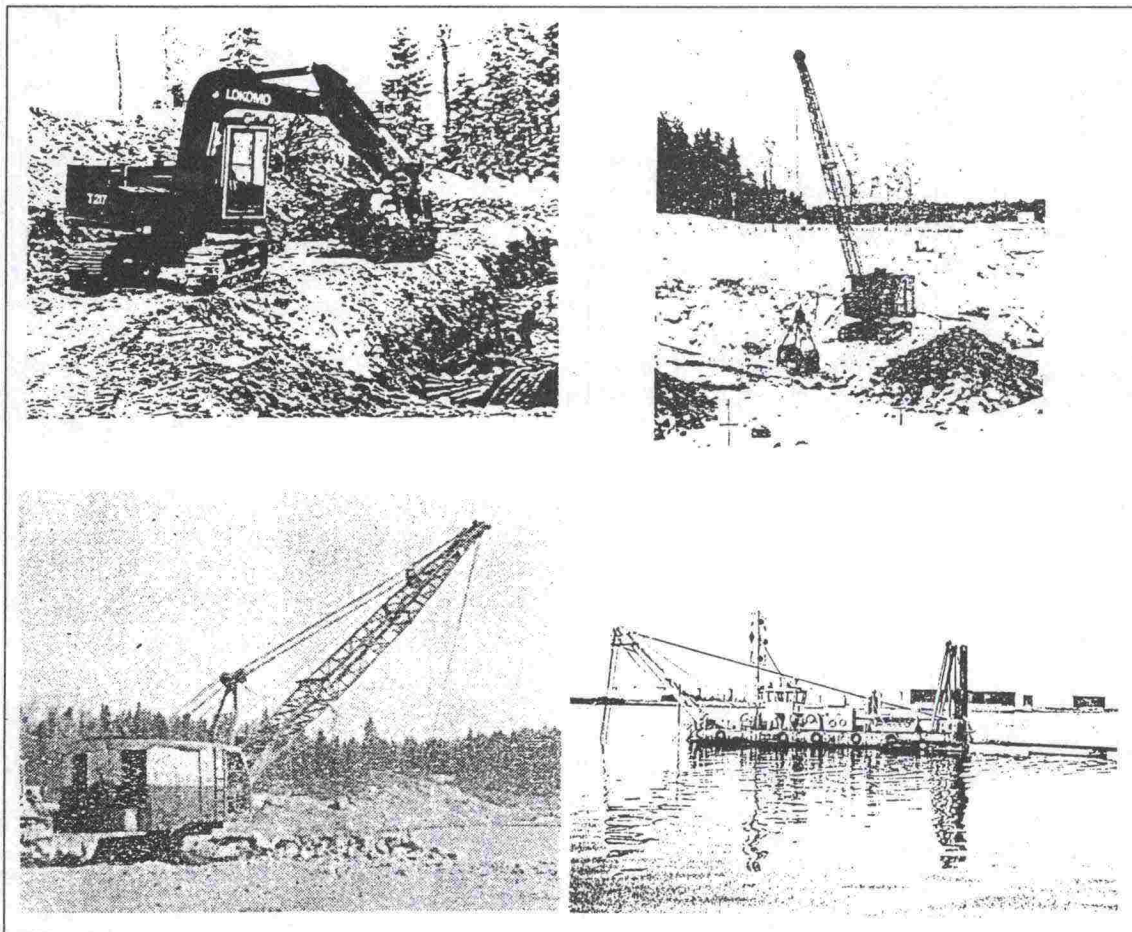
Kaivukalusto

Kaivutyö tehdään yleensä **hydraulisella kuokkakauhalla varustetulla kaivinkoneella** (kuva 20a). Kuokkakauhakoneella on suhteellisen hyvä ulottuma syvyys suunnassa ja matalan penkereen päältä kaivamalla voidaan massanvaihto ulottaa jopa 6...7 metrin syvyyteen, mikäli luiskien pysyvyys ei aiheuta ongelmia. Myös pistokaivua voidaan käyttää. Ulottuvuutta voidaan lisätä jatkamalla puomia, mutta tällöin pienenee kaivukapasiteetti. Turpeen poistossa voidaan käyttää suurempaa kauhakokoa.

Rakennusnosturi-kourakauhayhdistelmällä on suuri ulottuma sekä vaakaa että pystysuunnassa (kuva 20b). Hydraulisella kauhalla saadaan puristettua ylimääräinen vesi pois. Kourakauhalla päästään yli 10 metrin kaivussyvyyteen, mutta käyttöä rajoittaa kallis hinta. Menetelmä soveltuukin parhaiten paikallisiin erikoiskohteisiin (esim. kapeat ja syvät kaivannot, suuren ulottuman tarve).

Aikaisemmin massanvaihtotöissä käytettiin mekaanisia **laahakauha- eli veto-kaivukoneita** (kuva 20c). Laahakoneita ei ole enää juuri käytössä eikä ammattitaitoisia kuljettajia ole saatavilla. Laahakauhalla on hyvä ulottuvuus vaakasuunnassa (useita kymmeniä metrejä), mutta suuri kaivussyvyys ei ole mahdollinen. Menetelmä häiriinnyttää ympäröivän saven ja ottaa mukanaan huomattavan määrän vettä, mikä lisää huomattavasti ylösnostettavien massojen määrää.

Veteen pengerrettäessä ja teoriassa kuivallakin maalla, mikäli vettä on saatavilla, voidaan harkita **imuruoppaajan** käyttöä (kuva 20d), mikäli poistettavien massojen määrä on tarpeeksi suuri ja läjityskysymykset voidaan ratkaista (läjitysetäisyys suurimmillaan noin 1.5 km). Massanvaihtoja imuruoppaamalla ei ole juuri tehty tihankkeissa. Vesialueiden likaantuminen ja sopivien läjitysalueiden puute estävät käytännössä menetelmän laajemman soveltamisen. Joissakin pienissä kohteissa on massojen poistamiseen vedestä käytetty kaivinkonetta sekä betonipumppua.



Kuva 20: Massanvaihtoissa käytetyt kaivinkonetyypit: a) hydraulinen kuokkakaivinkone b) nosturi-kourakauhayhdistelmä c) laahakauhakone d) imuruoppaja.

Kuljetuskalusto

Yleisillä teillä kuljetukset tehdään useimmiten tavallisilla kuorma-autoilla. Suljetuilla työalueilla dumperit ovat usein edullisempia suuremman kantavuutensa ja maastokelpoisuutensa vuoksi. Uudella dumperikalustolla päästään taloudellisiin kuljetuskustannuksiin aina 5...10 km etäisyydelle saakka, vanhoilla dumpereilla maksimietäisyys on 2...3 km.

Uusien dumperien kuljetusnopeus vastaa normaaleja kuorma-autonopeuksia. Läjitetävien massojen kuljetustapaa valittaessa on otettava huomioon vetelien massojen vaatima kalusto. Lavan tulisi olla mahdollisimman korkea ja hyvin suljettu. Dumpereissa yleensä käytettävä lavamalli soveltuu paremmin karkeiden kuin vetelien läjitysmassojen kuljetuksiin.

Kuljetusteillä on pyrittävä välttämään jyrkkiä nousuja.

Levitys- ja tiivistyskalusto

Massojen levitys sekä täyttöpäässä että läjitysalueilla tapahtuu useimmiten telapuskukoneella. Myös kaivinkonetta ja pyöräkuormaajaa on käytetty. Puskukoneen taloudellinen siirtomatka on enimmillään 100 metriä.

Massanvaihtojen tiivistykseen on tarvittaessa käytetty hydraulisia täryjyriä sekä pudotustiivistystä.

10 SUUNNITELMAN ESITYSTAVAT

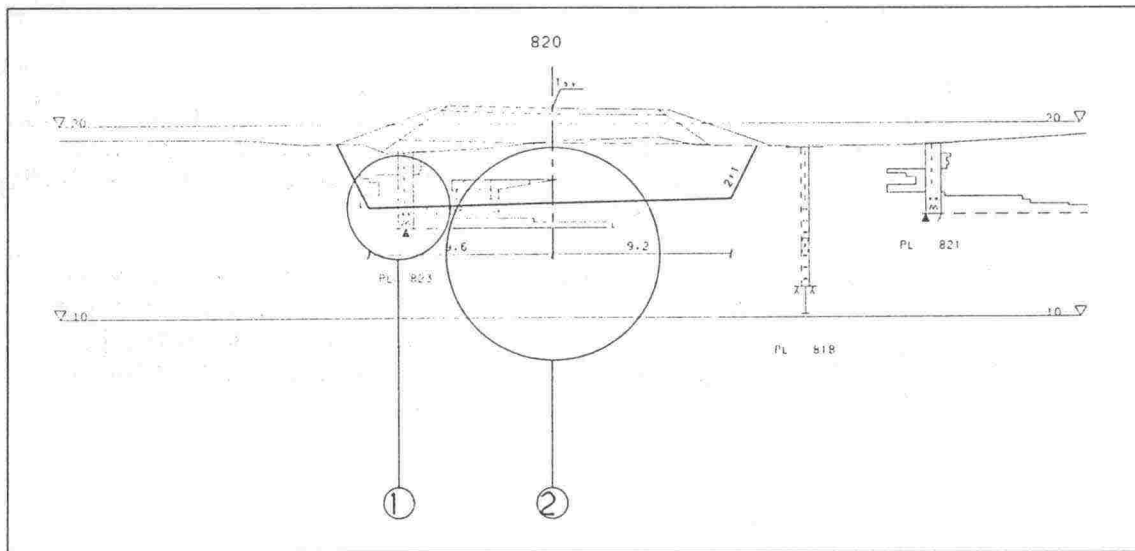
10.1 Piirustukset

Piirustusten ja työselitysten tulisi noudattaa yhtenäistä esitystapaa varsinkin suurissa hankkeissa, joissa suunnittelu on jaettu useampaan osaan. Työn toteutusvaiheessa suunnittelurajat eivät välttämättä vastaa urakkarajoja, jolloin urakan laskentavaiheessa voi syntyä ongelmia erilaisten esitystapojen vuoksi.

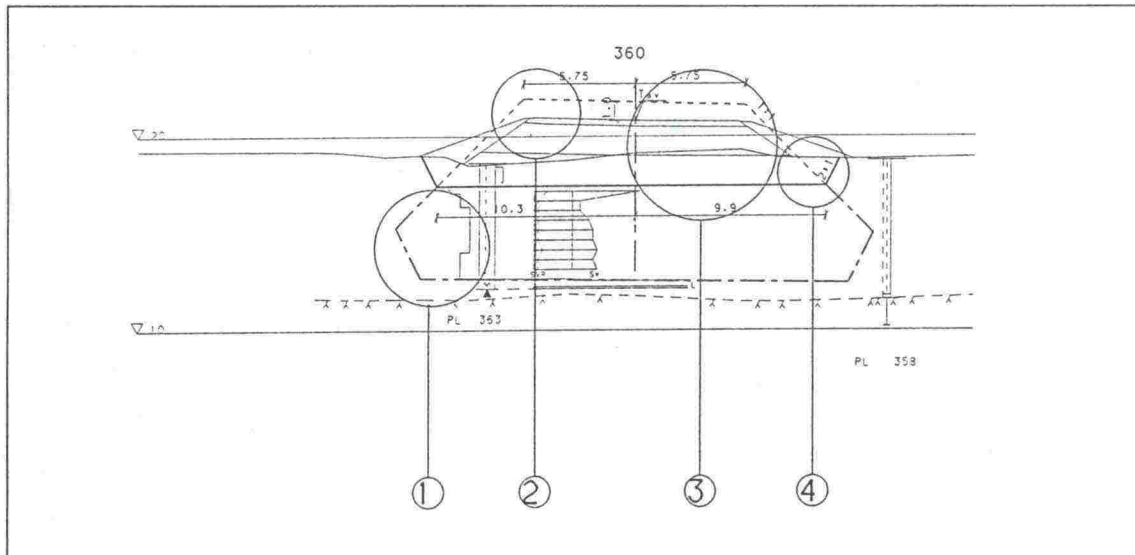
Massanvaihdon suunnitelmapiirustusten esitystapa on esitetty Tielaitoksen julkaisussa Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa (TIEL 703435).

Massanvaihto kaivamalla esitetään kuvan 21 mukaisesti. Massanvaihdon kaivuraja esitetään leveällä viivalla (1). Alue voidaan myös rasteroida kevyellä rasterilla siten, että pohjatutkimukset eivät peity rasterin alle. Massanvaihdon mitat esitetään poikkileikkauksessa (2). Monimutkaisissa tapauksissa laaditaan erikoispiirustus (esim. kartta 1:200), josta selviää pengerryksen muoto ja rakennusvaiheet. Penkereen paikannuksen ei tarvitse vastata esim. paalutus-suunnitelman tarkkuutta, koska massanvaihtomenetelmän tarkkuus ei vastaa paalutustyötä.

Massanvaihto pengertämällä esitetään kuvan 22 mukaisesti. Pengertämällä tehtävä massanvaihto esitetään tavoittemaisesti leveällä pistekatkoviivalla (1). Alue voidaan myös rasteroida. Väliaikaiset rakenteet, kuten ylipenkereet, esitetään katkoviivalla (2). Alkukaivun ja penkereen mitat esitetään mittajanoilla (3). Alkukaivanto esitetään kuten massanvaihto kaivamalla (4).



Kuva 21: Massanvaihto kaivamalla. Poikkileikkauspiirustuksen esitystapa.



Kuva 22: Massanvaihto pengertämällä. Poikkileikkauspiirustuksen esitystapa.

10.2 Työselitykset ja valvontaohjeet

Massanvaihtoa koskevat yleiset työselitykset on esitetty Tienrakennustöiden yleisiin laatuvaatimuksiin ja työselityksiin kuuluvissa julkaisuissa Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet (TIEL 2212459) sekä Penger- ja kerrosrakenteet (TIEL 2212460).

Kohteen tapauskohtaiset erityispiirteet esitetään työkohtaisessa työselityksessä, joka täydentää yleisiä työselityksiä. Liittyvien ja varottavien rakenteiden osalta tehdään tapauskohtaiset detaljisuunnitelmat. Työkohtaisessa työselityksessä esitettäviä asioita ovat:

- kaivutaso ja suunnitelmien tulkinta
- ylöskohonneen maan poisto
- täyttömateriaalit
- täyttötavat ja mahdolliset tiiviysvaatimukset
- työjärjestys ja työohjeet
- painuma-ajat
- painumien tarkkailumittaukset
(esitetään poikkileikkauspiirustuksissa julkaisun Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa (TIEL 703435) mukaisesti)
- ylipenkereet
- varottavat rakenteet ja ympäristökysymykset
- räjäytykset

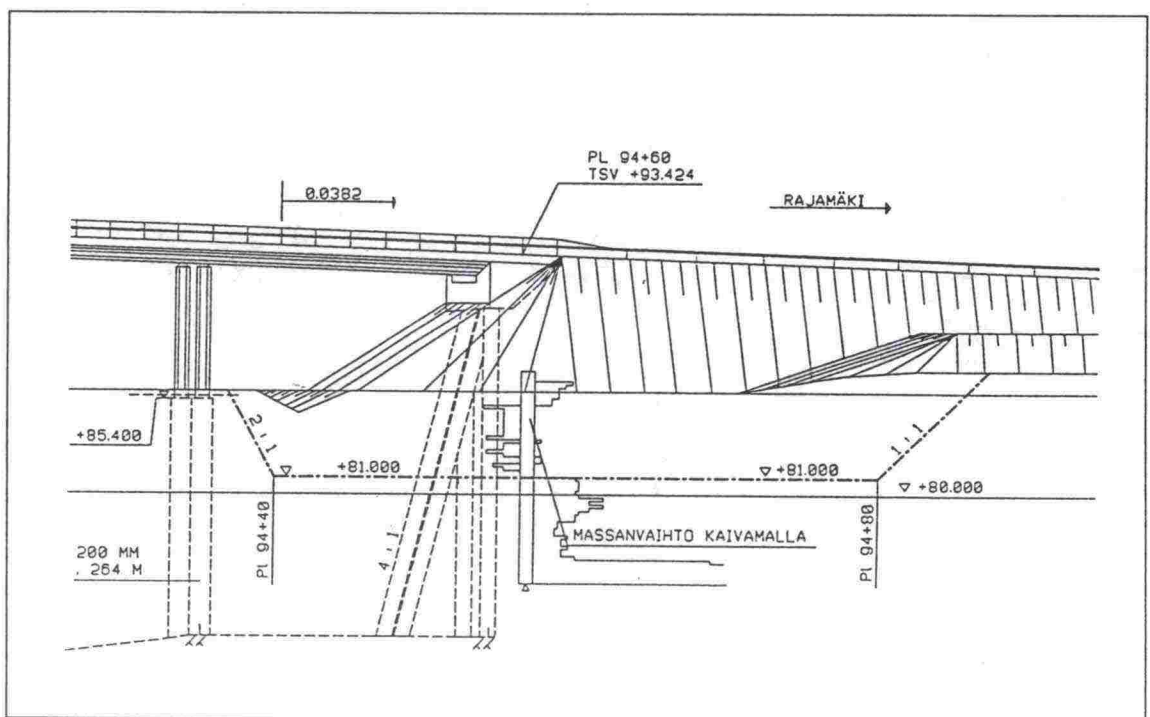
Valvontamenetelmiä on käsitelty Tienrakennustöiden valvontaohjeen osassa Pohjanvahvistustyöt (TIEL 732177).

Suunnittelijan ja rakennusosapuolen yhteydet ovat tärkeitä työkohtaisessa suunnittelussa, jotta käytännön rakentamisesta saadut kokemukset ja rakentajan työmenetelmiä koskevat mieltymykset voidaan ottaa huomioon. Suunnittelussa tulee välttää epävarmoja oletuksia; esimerkiksi talvipakkasten hyväksikäyttöön ei pitäisi turvautua etukäteen.

11 ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA KOHTEISTA

11.1 Massanvaihto kaivamalla kovaan pohjaan

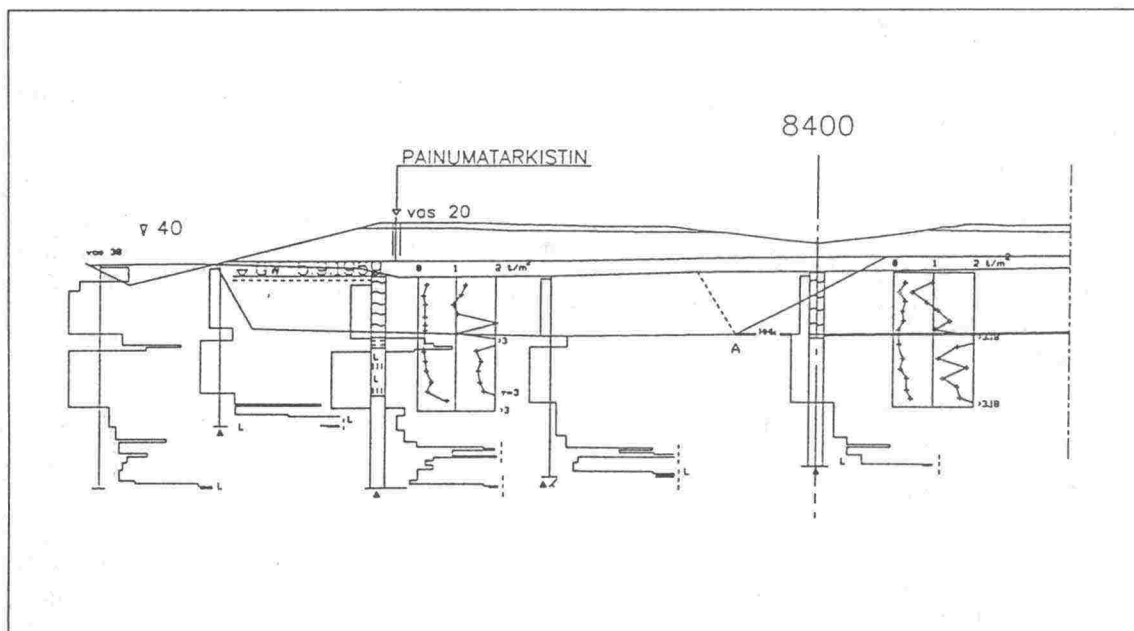
Massanvaihdosta kaivamalla on esimerkkinä kuvan 23 sillan tulopenger. Kohde on Rajamäen risteys- ja ylikulkusilta Nurmijärven-Rajamäen maantiellä. Massanvaihtokaivannon syvyys on noin 5 metriä. Silta on perustettu kaivinpäaluilla kallion varaan.



Kuva 23: Massanvaihto kaivamalla. Rajamäen risteys- ja ylikulkusillan tulopenger.

11.2 Osittainen massanvaihto

Osittaisesta massanvaihdosta on esimerkkinä kuvan 24 kohde Helsingin-Lahden moottoritietä väliltä Tattariharju-Järvenpää Vaaralan eritasoliittymän eteläpuolelta. Noin kolmen metrin paksuisen turvekerroksen alapuolella on metrin paksuinen hiekka- ja silttikerros. Sen alla on 3...4 metriä savea, jonka leikkauslujuus vaihtelee välillä 10...20 kPa. Massanvaihto on toteutettu kaivamalla turvekerros pois ja pengertäen vaihteittain pengertäen turpeen alla olevien lujempien maakerrosten varaan.



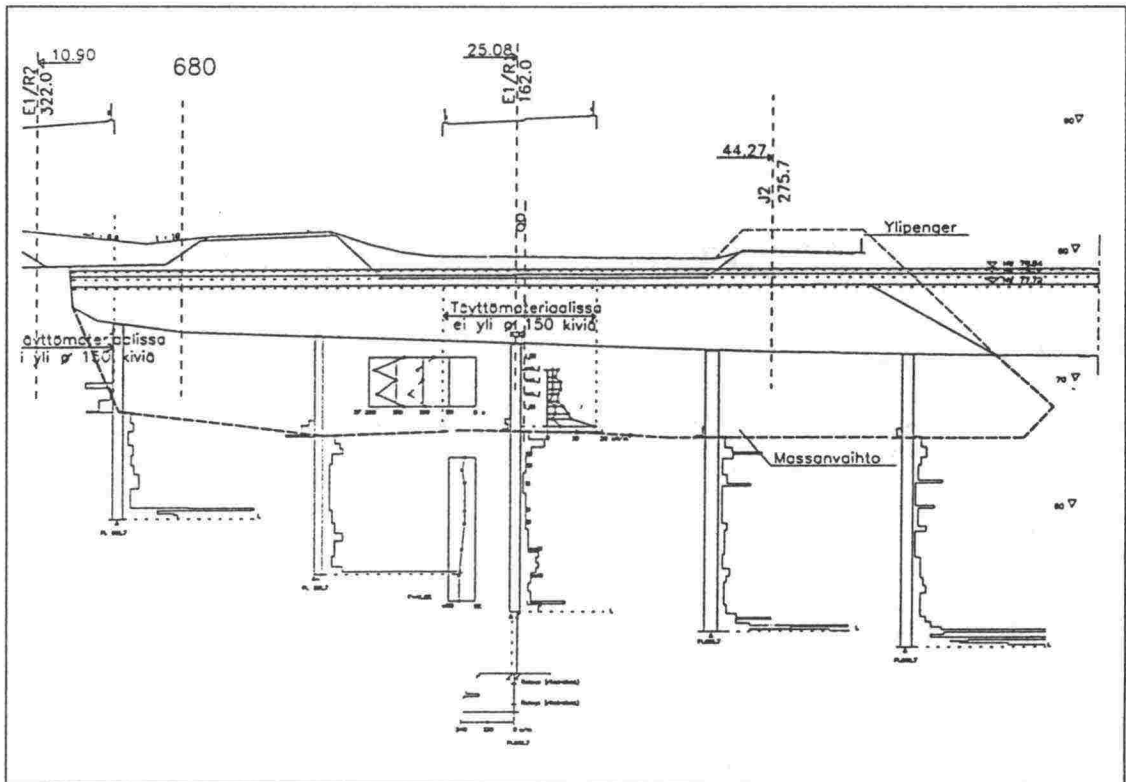
Kuva 24: Osittainen massanvaihto kaivamalla. Helsinki-Lahti moottoritie välillä Tattariharju-Järvenpää.

11.3 Pohjaantäyttö

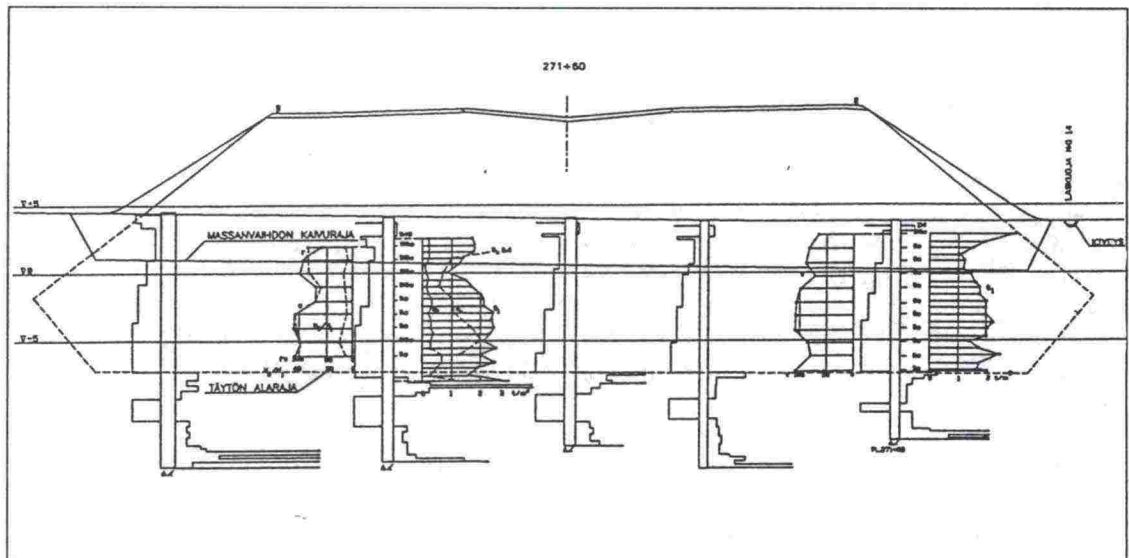
Esimerkkinä pohjaantäytöstä on kuvassa 25 esitetty Jyväskylän Rantaväylän Lutakonranta. Rakennuspaikalla oli vettä 2...6 metriä, jonka alla 4...9 metriä pehmeää savea, liejua ja silttiä. Pehmeät kerrokset ruopattiin kourakauharuoppaajalla, joka työskenteli ponttoonilta penkereen edessä. Täyttömateriaali oli louhetta (500 000 m³), paitsi kaivinpaalutetun sillan kohdalla soraa. Työ onnistui suunnitellusti ja jälkipainumat lakkasivat alle 6 kuukaudessa. Tunkeutumissyvyyttä tarkkailtiin porakonekairauksin.

Esimerkkinä leveästä massanvaihtopenkereestä on kuvassa 26 esitetty kohde Helsinki-Porvoon moottoritietä väliltä Boxby-Drägsby. Pohjasuhteiltaan kohde on pohjaantäytön onnistumisen kannalta rajamailla pohjamaan ollessa sitkeää savea. Kohde on kuitenkin toteutettu onnistuneesti. Pohjaantäyttösyvyys on noin 12 metriä.

Syvästä massanvaihdosta on esimerkkitapauksena kuvassa 27 esitetty Saka-rasuon pohjaantäyttö. Kohde sijaitsee moottoriliikennetiellä Mäntsälä-Lahti välillä Levanto-Viljaniemi. Rakennuspaikalla on noin 4...5 metrin paksuinen

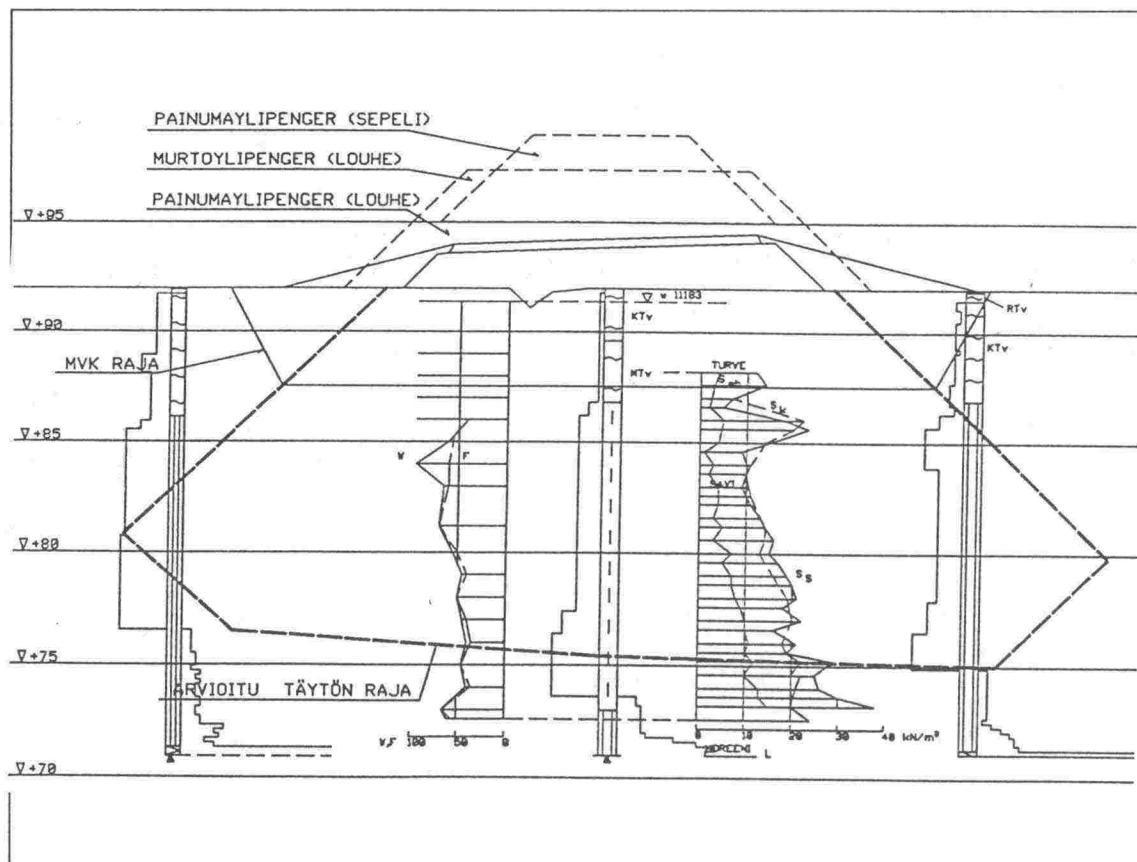


Kuva 25: Massanvaihto pengertämällä. Jyväskylän Rantaväylä.



Kuva 26: Leveä massanvaihto moottoritieellä Helsinki-Porvoo välillä Boxby-Drägsby.

turvekerros, jonka alla on syvimmillään 15 metriä savea. Saven suljettu leikkauslujuus vaihtelee 10 ... 20 kPa. Täyttösyvyys on noin 18 m ja kohde on syvimpiä TIEL:n toteuttamista. Täyttö rakennettiin louheesta louhemurtoy-lipengertä käyttäen. Korkeana painumaylipenkereenä pidettiin murskevarastoa.

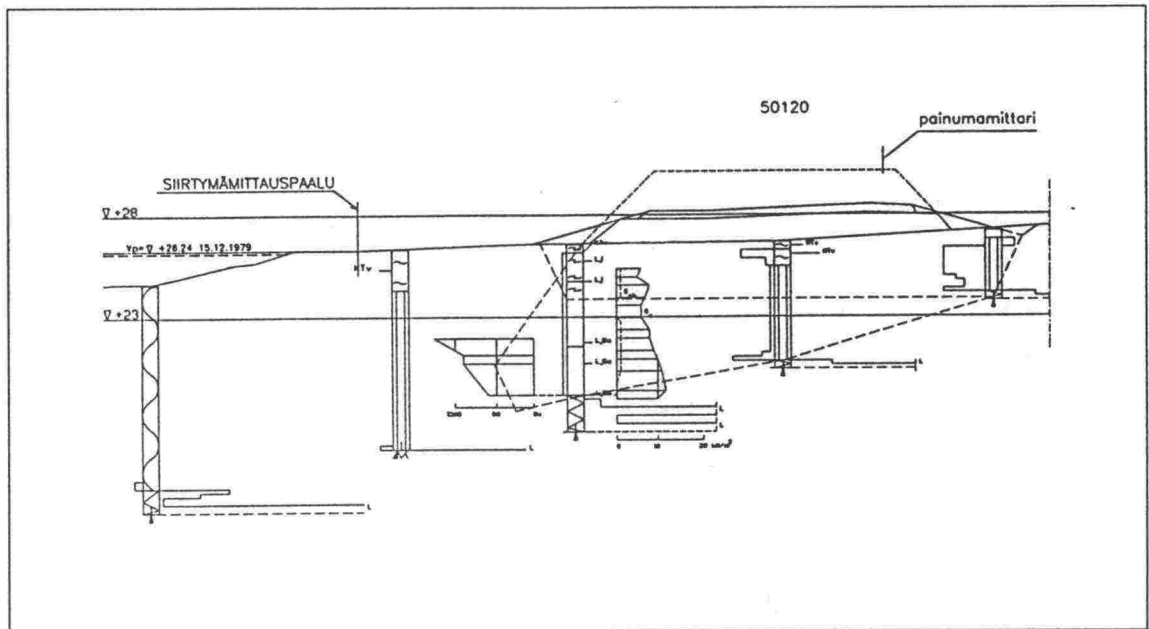


Kuva 27: Massanvaihto Sakarasuolla moottoriliikennetiellä Mäntsälä-Lahti.

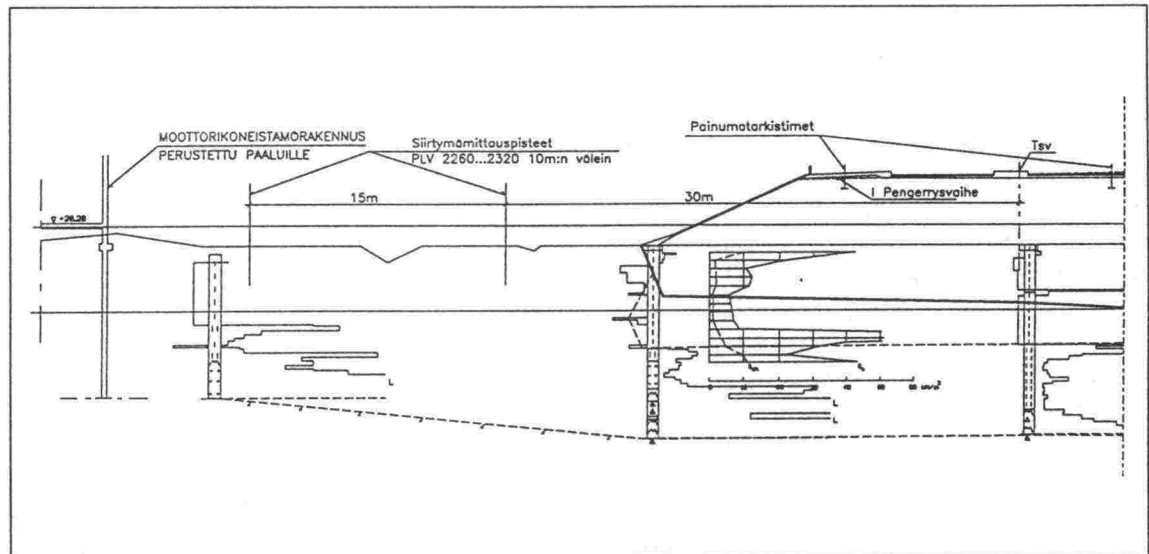
11.4 Varottavia rakenteita läheisyydessä

Kuvassa 28 on esitetty pohjaantäyttökohte moottoriliikennetieltä Porvoo-Koskenkylä. Penger sijaitsee lähimmillään noin kymmenen metrin päässä suojeltavasta Tammiotrasketin rannasta. Pohjaantäyttösyvyys on suurimmillaan noin 8 metriä. Pohjasuhteet ovat sivukaltevat varottavaan lammen rantaan päin ja saven leikkauslujuus vaihtelee 5...12 kPa siipikairalla mitattuna. Rannan liikkeitä seurattiin työn aikana siirtymämittaustaapaaluin. Työ toteutettiin etukäteen varsin vaikean näköisessä paikassa onnistuneesti ja ranta säilyi alkuperäisessä muodossaan.

Kuvassa 29 on esimerkki aran rakenteen läheisyydessä tehtävästä massanvaihdosta pengertämällä. Kohde sijaitsee Mt 137 välillä Tammisto-Valkoisenläheteentie päätietä risteävällä Niittytiellä. Paaluille perustettu koneistamorakennus on noin 30 metrin päässä penkereen reunasta. Pohjasuhteet paikalla ovat lievästi rakennuksesta poispäin viettävät ja saven leikkauslujuus vaihtelee 6...12 kPa. Pohjaantäyttösyvyys on noin 6 metriä, josta alkukaivannon osuus noin 3...4 metriä. Rakennuksen ja penkereen välille rakennettiin siirtymämittaustapiverkosto. Työ onnistui eikä rakennus vaurioitunut.



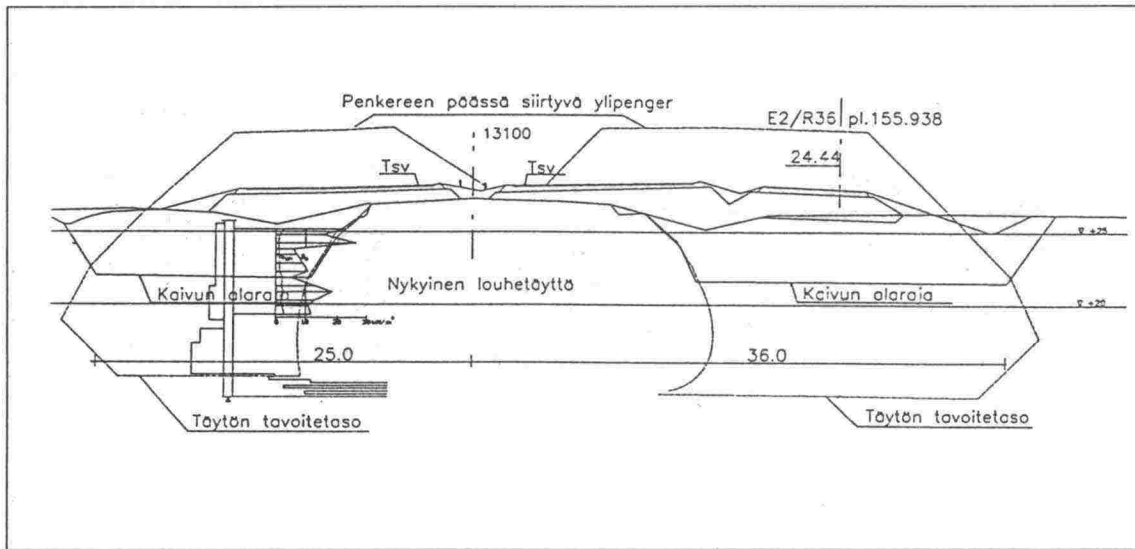
Kuva 28: Massanvaihto moottoriliikennetiellä Porvoo-Koskenkylä Tammio-träsketin kohdalla.



Kuva 29: Massanvaihto pengertämällä paalutetun rakennuksen läheisyydessä.

11.5 Vanhan penkereen levitys

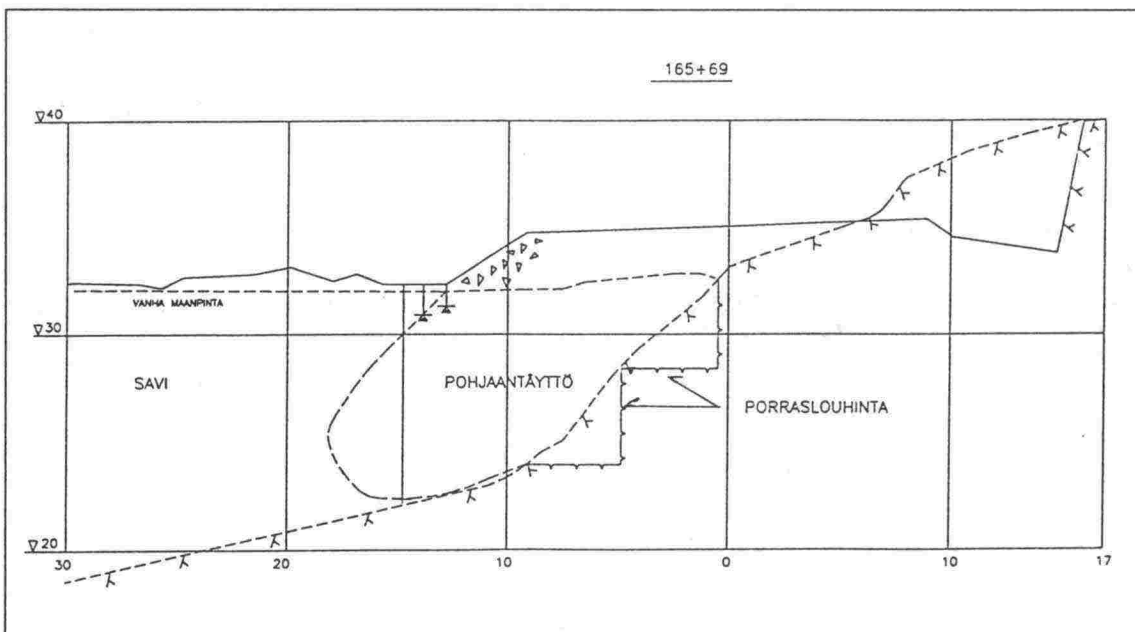
Esimerkkinä vanhan pohjaantäyttöpenkereen levittämisestä on kuvan 30 kohde Kehä III:lta Vaaralan liittymästä. Vanhaa pengertä levitettiin penkereen molemmiin puolin pohjaantäyttösyvyyden ollessa noin 12 metriä. Vanhan penkereen vieressä tehtävä alkukaivanto on toteutettu 4...5 metrin syvyisenä. Penkereen päässä on käytetty noin 4 metrin korkuista siirtyvää ylipengertä. Työ on onnistunut suunnitelmien mukaisesti.



Kuva 30: Vanhan pohjaantäyttöpenkereen levittäminen. Kehä III:n parantaminen Vaaralan liittymässä.

11.6 Porraslouhinta

Esimerkkinä erikoisemmasta massanvaihdosta on kuvassa 31 esitetty kohde Helsinki-Pori valtatieltä väliltä Palojärvi-Olkkala. Kohde sijaitsee Kirjavanjärven sillan maatuen eteläpuolella. Voimakkaasti sivukaltevalla paikalla pehmeät savikerrokset ulottuvat jyrkästi nousevaan kallioon. Paikalla on suoritettu porraslouhinta tiepenkereen alla riittävän vakavuuden turvaamiseksi. Louhinta tehtiin irtilouhintana poraamalla ja panostamalla maakerroksien läpi, minkä jälkeen tehtiin räjäyttämisen ja sen jälkeen pengerrys. Louhinnan vieressä suoritettua noin kymmenen metrin syvyyden pohjaantäytön laajuutta on rakentamisen jälkeen selvitetty tunnustelukairauksilla penkereen sivuilta.



Kuva 31: Porraslouhinta pohjaantäytön yhteydessä Kirjavanjärven sillan eteläpuolella.

Kirjallisuus

Helenelund, K.V. Markstabilitet och markgenombrott med speciell hänsyn till järnvägsbankar i Finland. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, julkaisu 24. Helsinki 1953.

Junnila, A. Olemassaolevan tiepenkereen leventäminen geoteknisenä kysymyksenä. Tie ja Liikenne 2/84.

Kankare, E. Tiepenkereiden perustamisesta kovaan pohjaan täyttööä tai massanvaihtoa käyttäen. TVL:n diplomi-insinöörit r.y. vuosikirja 9/1966.

Kankare, E. Pengerräjäytyksistä. Pioneeriupseeri 1970:1.

Kolhinen, M. Massanvaihdot teiden pohjarakennusmenetelmänä. Geotekniikan päivä 1989.

Kosonen, J. Tiepenkereen perustaminen pehmeikölle. Diplomityö TTKK, 1969.

Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita osa IV. TIEL 732660. Helsinki 1970.

Nedpressning av vägbank. Särtryck ur verksamhetsboken. Statens vägverk TU139. 1979.

Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa. Julkaisu TIEL 703435. Helsinki 1990.

Tienrakennustöiden valvontaohje. Pohjanvahvistustyöt. TIEL 732177. Helsinki 1988.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet. TIEL 2212459. Helsinki 1991.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Penger- ja kerrosrakenteet. TIEL 2212460. Helsinki 1991.

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 3/1992 Viipurin batoliitin eri rapakivityyppien soveltuvuus tienpäällyste-
kivialineeksi. TIEL 3100004
- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 2/1990 Liuskapystyjojakenttien toiminnasta. TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen; teoreettinen osa. TIEL 703343
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tiepenkereen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet.
TIEL 3200024
- 1/1992 Pystyjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testaus-
menetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkas-
kestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT),
perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus.
TIEL 3200119

V. 1993 ILMESTYVIÄ GEOTEKNIIKAN INFORMAATIOJULKAISUJA

Tiegeotekniikan yleiset suunnitteluperusteet

Pohjanvahvistusmenetelmän valinta

Pengerpaalutus