

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma / Rakennetekniikka

Vertti Vuorinen

POHJARAKENTAMISEN ONGELMAT JA PERUSTUSTEN PAINUMINEN

Opinnäytetyö 2013

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

VUORINEN, VERTTI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Huhtikuu 2013

Avainsanat

Pohjarakentamisen ongelmat ja perustusten painuminen

52 sivua + 13 liitesivua

Lehtori Juha Karvonen

Insinööritoimisto R. Kajander Oy

pohjarakennus, ongelmat, perustukset, painuminen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää pohjarakentamisen eri ratkaisuja, niiden ongelmia ja mahdollisia korjausmenetelmiä painumien ilmetessä. Esimerkkikohteena työssä on rivitalo, jossa on ilmennyt suuria epätasaisia painumia. Tavoitteena oli sen avulla esitellä ja löytää mahdollisimman monia hyödyllisiä ratkaisumalleja tilanteen korjaamiseksi.

Opinnäytetyön lähdemateriaali koostuu alan kirjallisuudesta, rakentamisen ammattilaisille suunnatusta ohjemateriaaleista, internetistä otetuista artikkeleista ja esimerkkikohteeseen liittyvistä asiakirjoista. Esimerkkikohteessa esiintyville ongelmille ei ole olemassa yhtä oikeaa ratkaisua, vaan työssä on esitetty laaja katsaus mahdollisiin vaihtoehtoihin painumien pysäyttämiseksi ja vaurioiden korjaamiseksi.

Rakennusten painumien ilmeneminen ja niiden korjaaminen on toistaiseksi pieni, mutta varmasti kasvava rakentamisen erikoisala. Rakentaminen ilman kunnollisia pohjatutkimuksia on ollut aikaisemmin hyvinkin yleistä. Nykyään painumisriskiä kasvattaa se, että joudutaan rakentamaan hyvien rakennusalueiden loputtua huonommin rakentamiselle soveltuvalla maaperällä ja täyttöalueilla. Siksi painuneiden rakennusten korjaustöitä on tulevaisuudessa odotettavissa kasvavissa määrin.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

VUORINEN, VERTTI

Geotechnical Engineering Problems & Foundation Settlement

Bachelor's Thesis

52 pages + 13 pages of appendices

Supervisor

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Insinööritoimisto R. Kajander Oy

April 2013

Keywords

geotechnical engineering, problem, foundation, settlement

The purpose of this thesis was to examine different solutions of geotechnical engineering, geotechnical engineering problems and possible repair methods foundation settlements are found. As an target was a terraced house where unequal foundation settlements have been noticed during a long period, and the purpose was to introduce and find many possible solutions for repairing the damages.

The thesis work was made by studying literature, guide documents for construction professionals, articles of internet and documents of the target. A problem that occurs in the target has not only one right solution but the thesis shows a wide review for possible options of stopping the settlements and repairing damages.

Occurring foundation settlements and their repairing is for the moment small but surely increasing special branch of construction engineering. Building without proper soil surveying has been previously common. Nowadays the risk of foundation settlements is increased by the necessity to build in landfill areas and soils which are less favorable for building. Therefore repairing settlement of buildings is expected to increase in the future.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	POHJARAKENTAMINEN	7
	2.1 Määräykset ja ohjeet	7
	2.1.1 Yleistä	7
	2.1.2 Geotekniset tutkimukset	9
	2.1.3 Pohjarakenteiden suunnittelu ja pohjarakennustyö	9
	2.2 Pohjatutkimusmenetelmät	12
	2.2.1 Maastokatselmus	12
	2.2.2 Koekuoppa	12
	2.2.3 Kairaukset	13
	2.2.4 Maanäytteet	16
	2.2.5 Geofysikaaliset pohjatutkimukset	19
	2.2.6 Pohjavesitutkimukset	19
	2.3 Laboratoriotutkimukset	20
	2.4 Pohjatutkimusraportti	20
3	PERUSTAMISTAVAT	21
	3.1 Yleistä	21
	3.2 Maanvaraiset perustukset	23
	3.3 Kalliolle perustaminen	24
	3.4 Paaluperustukset	25
	3.5 Muut perustamistavat	27
4	RAKENNUSTEN PAINUMIEN SYNTY JA NIIDEN KORJAAMINEN	29
	4.1 Yleistä	29
	4.2 Pohjarakentamisen ongelmatapaukset	31
	4.2.1 Perustaminen täyttöalueille	31
	4.2.2 Sekaperusteinen rakennus	32

4.2.3	Maanvaraisesti perustetut tai kevennysperusteiset rakennukset vaihtelevalla maapohjalla	32
4.2.4	Perustaminen ilman pohjatutkimuksia	33
4.2.5	Muita ongelmatapauksia	34
4.3	Korjausmenetelmiä	35
4.3.1	Yleistä	35
4.3.2	Maapohjan vahvistaminen	36
4.3.3	Perustusten syventäminen	37
4.3.4	Perustusten vahvistaminen paaluilla	38
4.3.5	Muita menetelmiä	39
5	ESIMERKKIKOHDE ASUNTO OY VIRVAKOTO	41
5.1	Yleistä	41
5.2	Ilmenneitä ongelmia	41
5.3	Korjausvaihtoehdot	45
5.4	Suositteltavat toimenpiteet	48
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	49
	LÄHTEET	51
	LIITTEET	
	Liite 1. Ramboll Finland Oy 2011, As Oy Virvakoto: Painumatutkimus ja korjaus-suositus	
	Liite 2. Ramboll Finland Oy 2012, As Oy Virvakoto: Rakennuksen päätyhuoneiston painumien korjaus	
	Liite 3. Insinööritoimisto R. Kajander Oy 2012, Virvakoto: Talon 1 painuman kor-jaaminen	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Insinööritoimisto R. Kajander Oy Kouvolasta. Opinnäytetyön aihe syntyi tarpeesta selvittää ongelmalliselle maapohjalle perustetun ja painuneen rakennuksen korjausvaihtoehtoja. Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää pohjarakentamisen lainsäädäntöä koskien pieniä ja tavanomaisia rakennuksia, käydä läpi eri pohjaolosuhteisiin sopivia perustamisratkaisuja ja niissä ilmeneviä ongelmia sekä etsiä sopivia ratkaisuja painuneen rakennuksen korjaamiseksi.

Opinnäytetyön materiaaleina on käytetty alan kirjallisuutta ja internetin sivustoja, joista on koottu mahdollisimman laaja katsaus maanvaraisesti perustettujen rakennusten mahdollisiin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Lisäksi käytössä oli Kouvolaan sijaitsevan esimerkkikohteen arkkitehti- ja rakennepiirustukset, rakentamisen aikaisia asiakirjoja ja tutkimusraportteja vuosilta 2011–2012.

Nykyisin Suomessa rakentamiseen hyvin soveltuvat tontit ovat jo rakennettu ja pehmeiköille ja täyttömaille rakentaminen tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Näin ollen myös ongelmat tulevat lisääntymään. Kun rakennuksia ei perusteta paaluille tai kalliolle, vaan maanvaraisesti, on aina mahdollisuus, että ajan kuluessa maapohja tiivistyy ja huomataan epätasaisia painumia. Hyvällä pohjatutkimuksella ennen rakentamista saadaan varmuutta perustamistavan valintaan. Maapohja ei kuitenkaan ole täysin homogeenistä, joten pienet paikalliset painumat ovat tällöinkin mahdollisia. Maanalaisia maakerrostumia on mahdotonta arvioida täsmällisesti. Laajoilla pohja- ja maaperätutkimuksilla saadaan kuitenkin usein riittävän tarkka kuva maapohjan laadusta ja soveltuvuudesta rakentamiseen. Huonon maapohjan tai suunnittelun vaikutus rakentamisessa näkyy yleensä vasta pitkän ajan kuluttua. Välittömiä vaikutuksia ei juurikaan huomata, koska rakennusten painuminen on usein pitkäaikaista. Ratkaisuja painumien pysäyttämiseen, maapohjan vahvistamiseen ja rakennusten nostoon on, mutta tämä rakentamisen erikoisala on toistaiseksi varsin pieni.

Esimerkkikohteenä on vuonna 1986 rakennettu Kouvolaan sijaitseva rivitalo-osakeyhtiö Asunto Oy Virvakoto. Rakennus on perustettu maanvaraisesti olettamuksella, että maapohja on hyvä ja rakentamiseen sopiva ilman erityisiä toimenpiteitä. Esimerkkikohteessa tarkastellaan teoriassa mahdollisia ratkaisuja ja niiden soveltuvuutta kyseiseen kohteeseen painumien pysäyttämiseksi ja rakennuksen nostamiseksi.

## 2 POHJARAKENTAMINEN

### 2.1 Määräykset ja ohjeet

#### 2.1.1 Yleistä

Määräyksiä ja ohjeita pohjarakentamiseen on maankäyttö- ja rakennusasetuksesta (MRA) ja Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta (RakMK). Tarkempia ohjeita pohjatutkimuksille ja perustusten mitoitukselle annetaan Euronormissa 7. Geotekninen suunnittelu (SFS-EN 1997).

*Rakennuslupahakemukseen tulee liittää selvitys rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteista ja tarvittaessa terveellisyydestä ja korkeusasemasta sekä näiden edellyttämästä perustamistavasta ja tarvittavista muista toimenpiteistä.*

Maankäyttö- ja rakennusasetus 49 § 2 momentti

Maankäyttö- ja rakennusasetuksen mainitsemassa selvityksessä tulee RakMK:n mukaan tarvittaessa erityisesti käsitellä ja ratkaista mm. pohjavedenpinnan muutoksesta aiheutuvat haitat, kuten maanpinnan tai rakennusten painuminen ja puupaaluperustusten lahoaminen, ja rakennuspaikan saastuneet maamassat ja niiden käsittely tai sijoitus. (RakMK A1, 5.4.1)

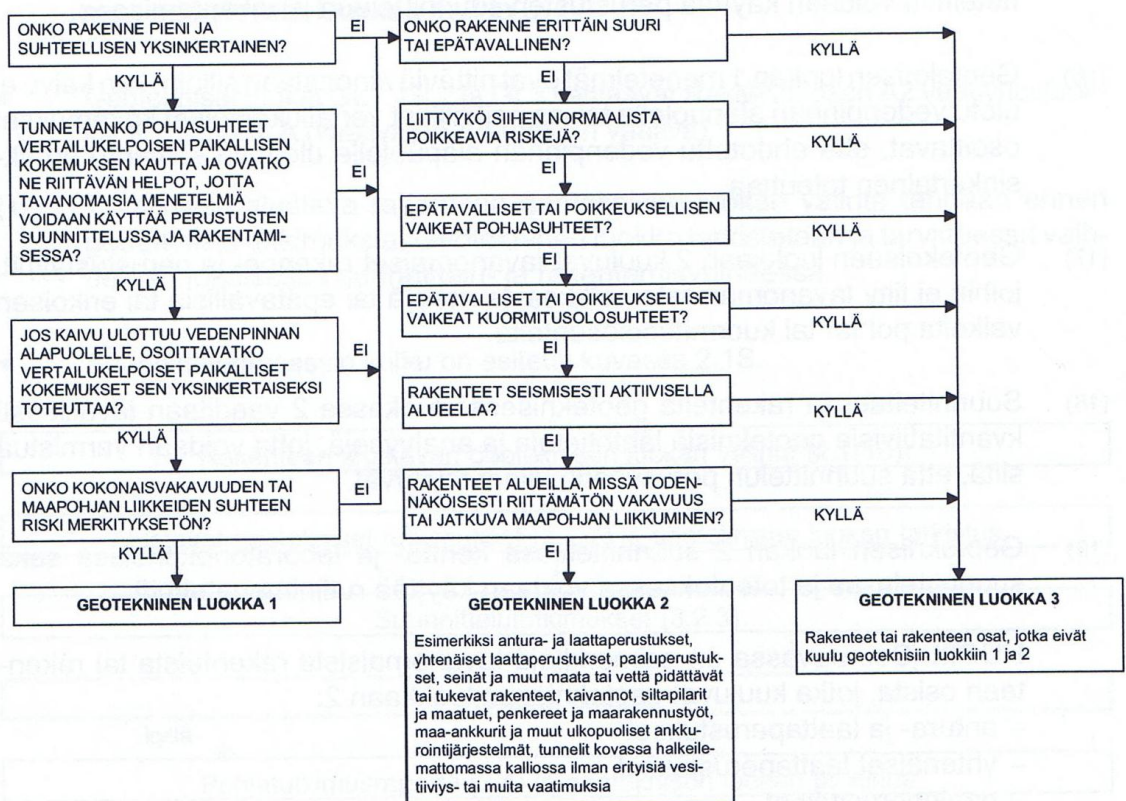
Pohjatutkimusten laajuus määräytyy rakennuskohteen vaativuuden perusteella. Erittäin vaativia pohjarakennuskohteita (AA) ovat yleensä suuret tai rakenteiltaan monimutkaiset rakennukset tai rakenteet, jotka sijaitsevat eloperäisten tai hienorakeisten maalajien alueella. Vaativuutta lisääviä tekijöitä ovat lisäksi epätavalliset kuormitukset ja pohjarakennusmenetelmät, vaikeat ja vaihtelevat pohjasuhteet sekä naapurirakennusten vaikutus suunnitteluun. Erittäin vaativia pohjarakennuskohteita voivat olla rakennukset, jotka perustetaan eloperäisen maaperän varaan; rakenteet, jotka perustetaan tätä tarkoitusta varten suunnittelemattomalle täytteelle tai täytteelle, jota ei ole kerroksittain tiivistetty; tai rakennuksia, jotka suunnitellaan rakennuspaikalle, jonka maaperä sisältää pilaantuneita maa-aineksia tai jossa on maaperän sortuman vaara. (RakMK A2, 4.2.3.4)

Vaativia pohjarakennuskohteita (A) ovat suuret tai rakenteiltaan vaativat rakennukset tai rakenteet, jonka rakennuspaikka sijaitsee kallio tai moreenialueella tai karkeara-

keisten maalajien alueella. Vaativa kohde voi olla myös kooltaan tai rakenteiltaan tavanomainen rakennus tai rakenne, jonka rakennuspaikka sijaitsee hienorakeisten maalajien alueella. (RakMK A2, 4.2.3.4.)

Tavanomaisia pohjarakennuskohteita (B) ovat kooltaan tai rakenteiltaan tavanomainen tai pienehkö rakennus tai rakenne, jonka rakennuspaikka sijaitsee kallio- tai moreeni-alueella tai karkearakeisten maalajien alueella. (RakMK A2, 4.2.3.4.)

Eurokoodissa 7 geoteknisten suunnitteluvaatimusten määrittämiseen käytetään Geoteknisiä luokkia GL1, GL2 ja GL3, jotka vastaavat RakMK:n osan A2 vaativuusluokkia B, A ja AA. Tavallisesti alustava geoteknisen luokan valinta tehdään jo ennen pohjatutkimusten aloittamista. Geoteknisen luokan arviointia helpottavaa materiaalia on julkaisu alan kirjallisuudessa (Kuva 1.). Geotekninen luokka tarkistetaan ja tarvittaessa vaihdetaan jokaisessa suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. (RIL 207-2009, 30.)



Kuva 1. Geoteknisen luokan valinta. (RIL 207-2009, 32)



## 2.1.2 Geotekniset tutkimukset

Geoteknisten tutkimusten tulee tuottaa riittävästi tietoja, jotka koskevat pohja- ja pohjavesiolosuhteita rakennuspaikalla ja sen ympäristössä. Tietoja tarvitaan oleellisten maapohjan ominaisuuksien asianmukaiseen kuvaamiseen ja mitoituslaskelmissa käytettävien maaparametrien ominaisarvojen luotettavaan arviointiin. Pohjatutkimusten ohjelmoinnista, johon sisältyy tutkimusmenetelmien valinta, tutkimuspisteiden määrä ja sijainnin suunnittelu, huolehtii rakennushankkeen vastaava pohjarakennesuunnittelija. (RIL 207-2009, 69.)

Pohjatutkimuksia ei ole välttämätöntä tehdä rakennushankkeen yhteydessä helppoissa (GL1) ja vaativissa (GL2) kohteissa, mikäli rakennuspaikalta kaavoituksen tai muissa yhteyksissä tehtyjen pohjatutkimusten tuloksia tai muita tietoja voidaan pitää laajuudeltaan ja laadultaan riittävinä ja niiden perusteella pohjarakenteiden suunnittelu ja pohjarakentaminen voidaan toteuttaa luotettavasti ja turvallisesti. (RIL 207-2009, 69.)

Helppoissa (GL1) pohjarakennuskohteissa selvitykseksi voi riittää asiantuntijan suorittama maastokatselmus. Maastokatselmuksen perusteella tehdyt päätelmät rakennuspaikan pohjasuhteista tulee esittää kirjallisesti, ja liittää rakennuskohteen suunnitelma-  
raporttiin. (RIL 207-2009, 69.)

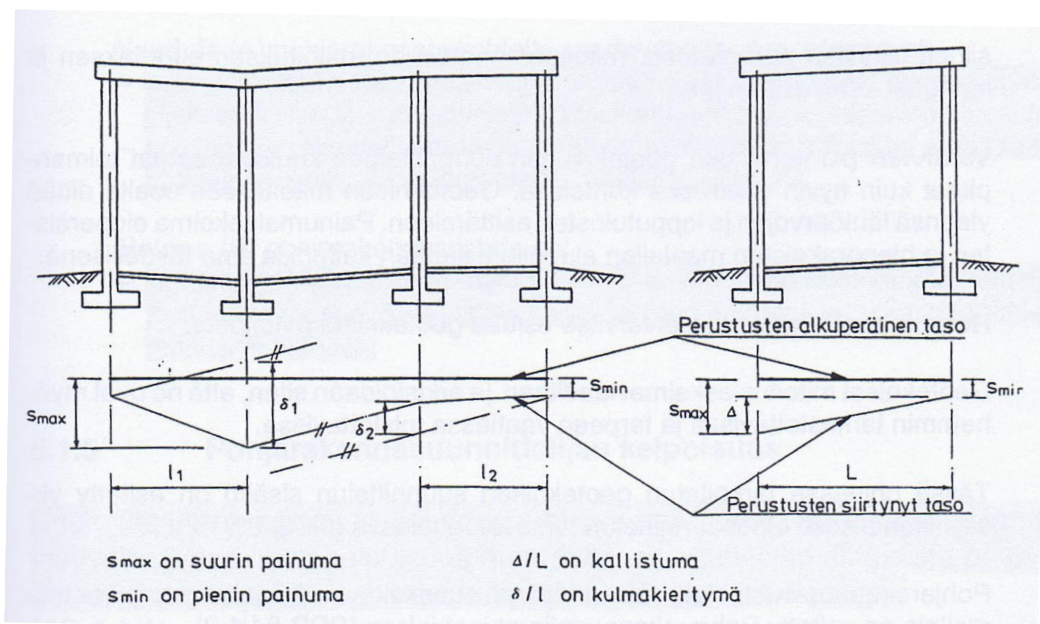
## 2.1.3 Pohjarakenteiden suunnittelu ja pohjarakennustyö

Perustukset suunnitellaan siten, etteivät perustusten painumaerojen aiheuttamat muodonmuutokset aiheuta rakenteisiin haitallisia jännityksiä. Rakennusten ja rakenteiden kokonaispainumat ja kallistumat ovat liittyvien rakenteiden, putkijohtojen, työskentely- tai asumismukavuuden, terveellisuuden ja ulkonäköseikkojen takia rajoitettava kohtuullisiksi. Painumaerojen mahdollisesti aiheuttama halkeilu ja saumojen aukeaminen eivät saa aiheuttaa rakenteellisen kestävyuden, asumismukavuuden tai asunnon terveellisuuden vähenemistä. (RIL 207-2009, 57.)

Taulukko 1. Rakennusten kokonaispainumien ja kantavien rakenteiden kulmakiertymien suuntaa-antavia raja-arvoja. (RIL 207-2009, 57)

Rakennetyyppi	Kokonaispainuman raja-arvoja (mm)	Kulmakiertymien raja-arvojen vaihteluväli	
		Karkearakeinen maapohja	Hienorakeinen maapohja
Massiiviset jäykät rakenteet	100	1/250–1/200	1/250–1/200
Staattisesti määrätyt rakenteet	100	1/400–1/300	1/300–1/200
Staattisesti määräämättömät rakenteet:			
– Puurakenteet	100	1/400–1/300	1/300–1/200
– Teräsrakenteet	80	1/500–1/200	1/500–1/200
– Muuratut rakenteet	40	1/1000–1/600	1/800–1/400
– Teräsbetonirakenteet	60	1/1000–1/500	1/700–1/350
– Teräsbetonielementtirakenteet	40	1/1200–1/700	1/1000–1/500
– Teräsbetonikehärakenteet	30	1/2000–1/1000	1/1500–1/700

Rakenteiden kokonaispainumien ja kulmakiertymien raja-arvot ilmenevät taulukossa 1 ja kulmakiertymän ja painuman käsitteitä selventää kuva 2. Rakennusta tarkastellaan kokonaisuutena pituus- tai leveys suunnassa. Esimerkiksi, jos karkearakeisella maapohjalla olevan talon pituus on 20 metriä ja rakennuksen teräsbetonisen alapohjan toinen pääty on painunut alkuperäisestä perustusten tasosta 50 millimetriä enemmän kuin toinen pääty, huomataan taulukosta, että se on teräsbetonirakenteille sallituissa rajoissa. Esimerkissä kuitenkin kulmakiertymäksi saadaan 1/400, joka ei siis kuitenkaan täytä tämänkaltaiselle rakenteelle asetettuja raja-arvoja.



Kuva 2. Kokonaispainuman ja kulmakiertymän käsitteet (RIL 121-2004, 63)

Perustuksen ja muut pohjarakenteet suunnitellaan ja rakennetaan niin, että ne kestävät ja toimivat koko suunnitellun käyttöiän. Perustusten ja muiden pohjarakenteiden käyttöikä osoitetaan käyttämällä ratkaisuja ja materiaaleja, joiden toiminta perustuksina ja muina pohjarakenteina tunnetaan riittävän pitkältä ajalta. Muussa tapauksessa ratkaisut ja materiaalit koestetaan puolueettomassa tutkimuslaitoksessa sillä rasisitusmäärän ja -tason yhdistelmällä, joka perustukseen tai muuhun pohjarakenteeseen voi kohdistua sen käyttöaikana. (RIL 207-2009, 57.)

Pohjarakenteet rakennetaan kallion, sulan luonnontilaisen maapohjan tai sulan kerroksittain tiivistetyn täyttökerroksen tai sulan rikkilouhitun kalliopohjan varaan. Perustusten ja muiden pohjarakenteiden vierustäytöt tehdään kerroksittain tiivistäen tarkoitukseen sopivasta, routimattomasta ja sulasta materiaalista. (RIL 207-2009, 86.)

Talonrakennuksen maarakenteet on aina rakennettava kerroksittain tiivistäen. Poikkeuksena tästä on rakennuspohjan tai piha-alueen syvätiivistäminen, jonka toteutusta ja laadunvarmistusta koskevat vaatimukset ja ohjeet on aina esitettävä työkohtaisessa työselostuksessa ja laatuvaatimuksissa. (RIL 207-2009, 93.)

Ennen perustusten rakentamisen aloittamista tulee pohjamaa valmistella huolellisesti. Maapohjaa häiritsemättä tulee poistaa juuret, esteet ja heikon maan vyöhykkeet. Pohjamaan valmisteluista muodostuvat kuopat tulee täyttää maalla tai muulla materiaallilla, jonka jäykkyys vastaa häiriintymättömän maapohjan jäykkyyttä. (RIL 207-2009, 116.)

Rakennuspohjan laatu tulee selvittää aina ennen perustamistavan ja perustamissyvyyden valintaa. Pohjatutkimukset kannattaa tehdä heti kun on pääpiirteittäin saatu selville rakennuksen muoto ja sijoitus tontille. Pohjatutkimuksilla selvitetään tontin korkeussuhteet, maakerrokset ja maalajit, kantavan kerroksen tai kallionpinnan korkeusasema, pohjaveden korkeusasema, kuivatus- ja viemäri-vesien purkutaso ja -paikka, sekä radonin esiintyminen maaperässä. Koko hankkeeseen nähden pohjatutkimuksien kustannukset jäävät usein pieniksi, joten se summa kannattaa investoida hankkeeseen aina, jotta saadaan varmuus maaperän laadusta, ja vältetään tulevaisuudessa mahdollisten painumien korjauskustannuksilta. (Suortti-Suominen 1995, 38.)

## 2.2 Pohjatutkimusmenetelmät

### 2.2.1 Maastokatselmus

Ennen varsinaisia pohjatutkimuksia suoritetaan yleensä silmävaraisiin havaintoihin perustuva maastokatselmus. Maastokatselmuksen tarkoituksena on ratkaista myöhemmin tehtävien varsinaisten pohjatutkimusten suoritusmenetelmät ja laajuus. Maastokatselmuksessa tulee erityisesti kiinnittää huomiota tutkittavan alueen pinnan muodostukseen, kasvipeitteeseen, kalliopaljastumiin ja pintakivisyyteen. Havaintojen ja käytettävissä olevien geologisten karttojen, ilmakuvien ja alueen mahdollisien aikaisempien tutkimusten perusteella pyritään arvioimaan alueen maaperämuodostumista ja rakennetta. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne, 1979, 257.)

Maastokatselmuksesta saatavien tietojen on tarkoitus selventää ja tarkentaa muun muassa rakennuspaikasta olevien topografisten karttojen paikkansapitävyyttä, pintamaalajien rakennusteknisiä ja kaivettavuuteen liittyviä ominaisuuksia ja pintavesien valuma-alueita ja suuntia. (Kyyrönen 2007, 216.)

Kasvukerroksen alapuolisten maalajien selvittämiseksi maastokatselmuksessa voidaan myös kaivaa koekuoppia. Hienorakeisten maalajien alueella maastokatselmusta voidaan täydentää myös 1..2m syvyyteen ulottuvalla ohuella terästangolla suoritettavin tunnusteluin. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne, 1979, 257.)

Maastokatselmuksen perusteella voidaan tehdä päätelmiä rakennuspaikan pohjaolosuhteista ja voidaan esisuunnitella tulevia pohjarakenteita.

### 2.2.2 Koekuoppa

Luotettavin tapa lähellä maanpintaa olevien maakerrosten selvittämiseen on koekuoppa. Havaintoja maakerroksista ja niiden ominaisuuksista voidaan tehdä koekuopan kaivun aikana ja sen jälkeen. Koekuopan kaivun aikana maakerrosten lisäksi voidaan havainnoida mm. maan kivisyyttä, kaivuominaisuuksia ja kuopan seinämien pysyvyyttä. Koekuoppa voidaan ulottaa pohjavedenpinnan yläpuolella tukemattomana jopa 2-3 metrin syvyiseksi, jolloin jo mahdollisesti voidaan tehdä havaintoja pohjaveden korkeustasosta ja kalliopinnasta ja sen kaltevuudesta. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 258.)

Koekuopan kaivu on suotuisa alkuvaiheen pohjatutkimusmenetelmä etenkin kivisessä ja vaikeasti kairauksilla läpäistävissä pintakerroksissa. Koekuopan kaivun jälkeen pohjatutkimuksia voidaan jatkaa kaivannon pohjalta tehtävillä tutkimuksilla. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 258) Lisäksi koekuopasta selvitettäviä asioita ovat esimerkiksi maalajikerrosten korkeusasemat ja kerrosvahvuudet, mahdollisen kalliopinnan korkeusasema ja mahdollisesti pohjaveden korkeusasema. (Kyyrönen 2007, 216).

Pelkän koekuoppatutkimuksen perusteella ei saada vielä riittävää selvyttä maakerrosten tiiviyydestä. Maakerrosten tiiviyyden selvittämiseksi pohjatutkimuksia on usein täydennettävä myös kairauksilla.

### 2.2.3 Kairaukset

Pohjatutkimuksia suoritettaessa erilaisten kairausmenetelmien avulla havainnoidaan pääasiassa maaperään tungettavan kairan kärkikappaleen kairausvastusta. Kairausvastuksen vaihtelujen perusteella voidaan tehdä päätelmiä kairattavien maakerrosten laadusta, tiiviyydestä, lujuudesta ja kantavuudesta. Eri kairausmenetelmät sopivat erilaisiin pohjatutkimustarpeisiin (Taulukko 2), kairausmenetelmät eroavat toisistaan etenkin kairojen rakenteiden ja käyttömenetelmien kannalta. Kairausmenetelmät ovat joko staattisia, dynaamisia tai näiden yhdistelmiä. Staattisissa menetelmissä kairaus suoritetaan painoja tai hydraulisia puristimia käyttäen. Dynaamisissa menetelmissä kairatankoa isketään tai tärytetään maahan. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 258.)

Yleisimmät Suomessa käytetyt kairausmenetelmät ovat:

- painokairaus
- tärykairaus
- heijarikairaus
- puristinkairaus
- siipikairaus
- porakonekairaus (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 272.)

Taulukko 2. Kairausmenetelmien suositeltava käyttötarkoitus. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 272)

Kairausmenetelmän pääasiallinen käyttötarkoitus	Selvitettävä seikka	Kallion pinnan sijainti	Tiiviin pohjakerroksen sijainti	Tiiviydeltään erilaisten maakerrosten rajat	Maakerrosten lujuus ikimäärin	Maakerrosten lujuus tarkasti	Maakerrosten tiiviyys ikimäärin	Maalajiryhmä	Lyöntipaalu­pituuden arviointi
Kairausmenetelmän toissijainen käyttö­ tarkoitus tai selvitettävän seikan selvitystarkkuus on heikko	●								
	○								
<b>Painokairaus</b>		○	●	●	○		●	●	○
<b>Heijarikairaus</b>		○	●	○	○		●	○	●
<b>Puristinkairaus</b>			○	●	●		●	●	○
<b>Siipikairaus</b>						●			
<b>Tärykairaus</b>		○	●					○	○
<b>Porakonekairaus (paineilmakairaus)</b>		●	○						○

Suomessa selvästi eniten käytetty menetelmä on jo pitkään ollut painokairaus. Painokairauksessa maahan tungetaan terävää ruuvimaista kärkikappaletta enintään 1 kN voimalla, lisäksi tarvittaessa kairaa kierretään. Painokairauksen kuormitusperiaatteena on painomäärää vaihtelemalla löytää pienin kuormitus, jolla kaira painuu maahan. Jos kaira ei painu maahan 1 kN:n kuormituksellakaan, niin kuorma poistetaan ja löydyään kairaa. Kairauspöytäkirjaan merkitään kairausohjeiden mukaan kärjen syvyys, painuma, kuormitus ja puolikierrosten lukumäärä. Näiden tietojen perusteella laaditaan kairausdiagrammi ja voidaan arvioida maalajit ja maakerrosten paksuudet aina kalliopin­ taan asti. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 261.)

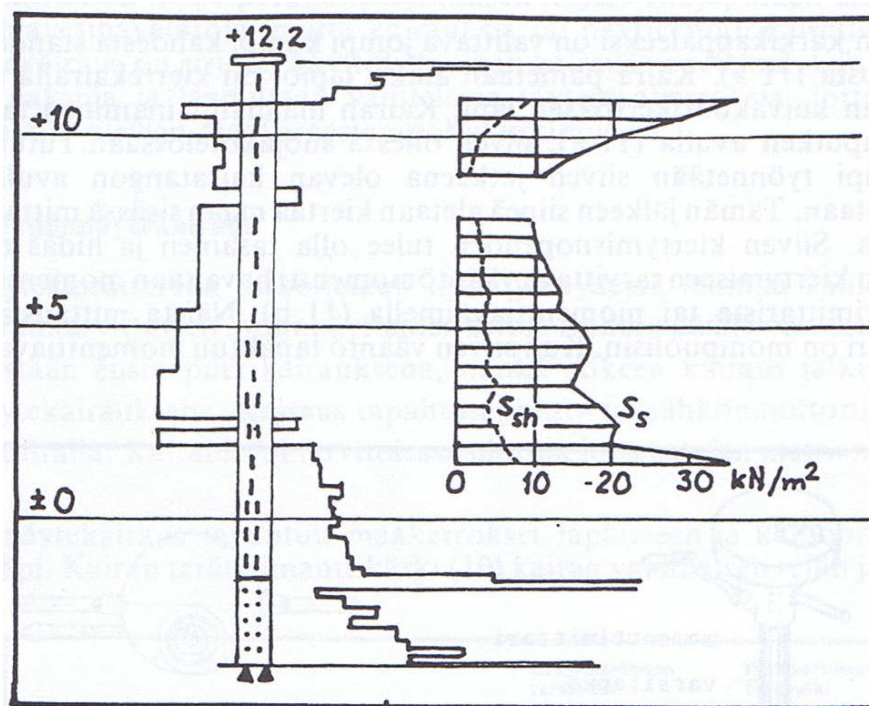
Taulokossa 2 on selvitetty eri kairausmenetelmien suositeltavia käyttötarkoituksia. Esimerkiksi heijarikairaus sopii erinomaisesti paalupituuksien määrittämiseen pää­ käyttötarkoituksensa puolesta. Porakonekairauksilla puolestaan pääasiallisesti määrite­ tään kalliopinnan sijaintia.

Painokairaus voidaan suorittaa, joko koneellisesti tai käsin. Painokairaus sopii erityi­ sesti hienorakeisille maalajeille. Savessa kairaustulokset voivat olla osin epäluotetta­ via, hiekka- ja soramaalajeissa painokairaus antaa melko selvän kuvan maakerrosten tiiviydestä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 262.)

Siipikairauksella on mahdollista selvittää hienojakoisten koheesiomaalajien suljettu leikkauslujuus ilman näytteenottoa, jonka ansiosta siipikairauksen käyttö on varsin yleistä. Kairan maahan painamiseen käytetään suojaputkea. Kun saavutetaan haluttu tutkimussyvyys, siipi työnnetään ulos suojakotelostaan. Tämän jälkeen siipeä kierretään mittalaitteen veivin avulla ja siiven kiertämiseen tarvittava momentti havaitaan mittalaitteella. (Kyyrönen 2007, 226.)

Siipeä kierrettäessä havaitaan ensin suurin tarvittava vääntömomentti, jonka perusteella saadaan häiriintymättömän maan leikkauslujuus, tämän jälkeen maa häiritään ja saadaan maan leikkauslujuus häirittyinä, joka on huomattavasti pienempi kuin suljettu leikkauslujuus. Tämän jälkeen siipi vedetään takaisin suojakotelonsa ja edetään seuraavaan mittauspisteeseen. (Kyyrönen 2007, 226.)

Kairauksesta pidetään pöytäkirjaan, johon merkitään tutkimussyvyys, siiven kiertoon tarvittu aika, siiven kiertokulma ja kiertoon tarvittava vääntömomentti. Kairauspöytäkirjan tuloksista piirretään kairausvastuskuvaaja (Kuva 3.). Siipikairaus sopii vain hienorakeisten ja joidenkin eloperäisten maalajien leikkauslujuuden selvittämiseen. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 270.)

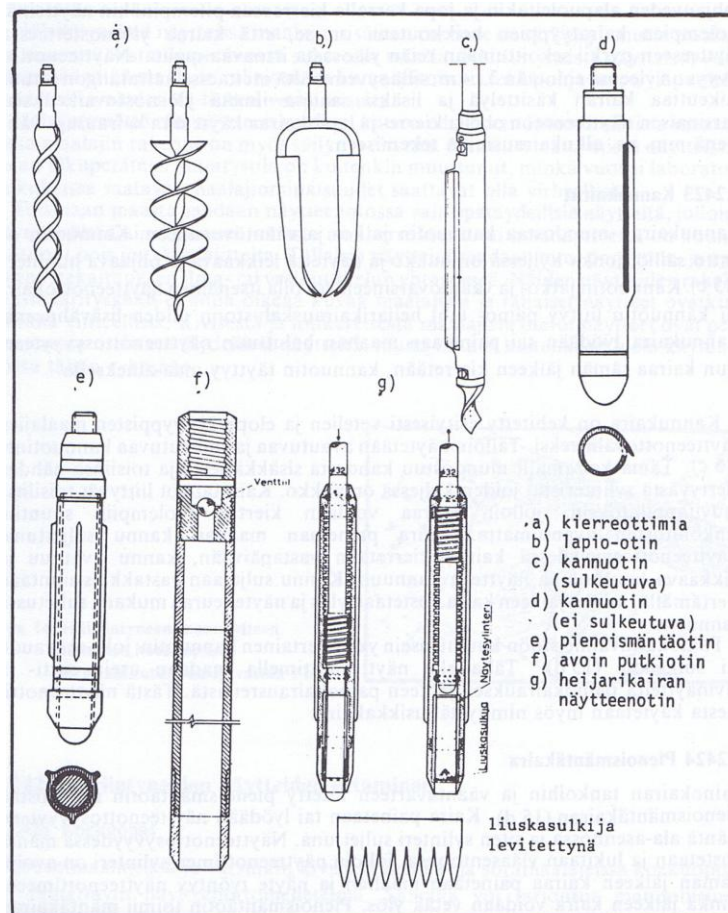


Kuva 3. Vasemmalla painokairauksen kairausvastuskuvaaja ja oikealla siipikairauksen kairausvastuskuvaaja. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 270)

## 2.2.4 Maanäytteet

Kairauksilla yleensä saadaan selville maakerrosten kerrosrajat ja maalajit, mutta tarkempia tietoja varten on yleensä otettava kairatuista maista maanäytteitä. Näytteiden ottaminen ja niiden analysointi on vaativissa pohjarakennuskohteissa yhtä tärkeää, kuin itse kairaukset. Näytteenottotavasta riippuen maanäytteitä otetaan häiriintyneinä ja häiriintymättöminä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 274.)

Häiriintyneissä näytteissä maan luonnollinen sisäinen rakenne on särkynyt, mutta maalajin ainesosat ovat alkuperäisessä suhteessa tallella. Näistä näytteistä voidaan määrittää tutkittavan maalajin rakeisuus ja humuspitoisuus. Pohjavedenpinnan yläpuolisista maalajeista voidaan lisäksi määrittää maalajin vesipitoisuus. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 274.)



Kuva 4. Häiriintyneiden maanäytteiden ottimia. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 276)



Koekuoppa on luotettavin häiriintyneen maan näytteenottomenetelmä etenkin moreeni-, sora- ja kivisien hiekkamaalajien alueella. Monilla kairoilla voidaan myös ottaa häiriintyneitä maanäytteitä varta vasten näytteen ottoon tarkoitetuilla ottimilla (Kuva 4.). (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 1979, 274.)

Häiriintymätön maanäyte edustaa luonnontilaista maata, vaikka maan alkuperäinen jännitystila onkin muuttunut. Muuttunut alkuperäinen jännitystila saattaakin laboratoriokokeissa johtaa virheellisiin maalajiominaisuuksiin. (Rantamäki, Jääskeläinen, Tamminne & 1979, 274.)

Laboratoriokokeilla häiriintymättömistä näytteistä voidaan selvittää samoja ominaisuuksia kuin häiriintyneistäkin maanäytteistä, lisäksi voidaan selvittää maanäytteen suljettu leikkauslujuus ja maalajin kokoonpuristuvuusominaisuudet. (Kyyrönen 2007, 228).

Koekuopasta on mahdollista ottaa myös häiriintymätön maanäyte sylinterimäisen näytteenottimen avulla, joka voidaan sulkea tiiviisti. Hienorakeisten maalajien alueella häiriintymättömiä näytteitä voidaan ottaa myös erilaisilla mäntäkaireilla. Mäntäkairalla otetun maanäytteen häiriintymättömyyden varmistamiseksi kairan sylinteriosan tulisi olla mahdollisimman ohutseinäinen ja kärjen tulisi olla terävä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 1979, 277.) Häiriintymättömien maanäytteiden ottaminen pohjavedenpinnan alapuolelta on käytännössä mahdotonta, sillä alapäästään auki olevasta sylinteristä kärjen ylösnoston aikana maanäyte huuhtoutuu pois tai näyte pääsee muutoin häiriintymään. (Kyyrönen 2007, 229).

Taulukko 3. Näytteenottimien suositeltavuus erilaisten maanäytteiden ottamiseen.  
(Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 279)

Näytteenottotapa tai -otin	Häiriintymätön näyte										Häiriintynyt näyte						
	Maalaji										Maalaji						
	Lj	Sa	Si	Hk	Sr	Mr	Lj	Sa	Si	Hk	Sr	Mr	Ka				
Koekuoppa	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>				
Kierrekaira *						<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>				
Lapiokaira *						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Kannukaira						<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Pienoismäntäotin *						<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>				
Läpivirtausotin							<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>				
Heijarikarran näytteen otin								<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Mäntäottimet	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>										
Porakonekaira																	
- putkik. + näyt. otto							<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>				
- vesi- ja ilmahuuhdeltu									<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Kallionäytekaira													<input checked="" type="radio"/>				

**Merkinnot:**

- Saadaan hyviä näytteitä, suositeltava menetelmä
- Saadaan näytteitä, toissijainen menetelmä
- \* Näytteenotto vaikeaa pohjavedenpinnan alapuolella karkeissa maalajeissa)

### 2.2.5 Geofysikaaliset pohjatutkimukset

Geofysikaalisten pohjatutkimusten käyttö talonrakennuksen pohjatutkimuksissa on erittäin vähäistä. Geofysikaalisia pohjatutkimusmenetelmiä käytetään esimerkiksi teiden pehmeikkötutkimuksissa ja painumalaskelmissa.

Geofysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi seisminen luotaus, sähköinen luotaus, ja radiometriset luotaukset. Seismisen luotauksen perustana on täryaallon etenemisnopeuden vaihtelu eri maaperässä. Seismisen luotauksen laitteisto rekisteröi täryaallon etenemiseen kuluneet ajat, joiden perusteella voidaan laskea maaperän kerrosrajat. Seismisen luotauksen käyttö soveltuu maanpinnan lähellä olevien kerrosrajojen selvittämiseen, syvemmälle mentäessä virhemarginaali kasvaa tuntuvasti. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 284.)

Sähköinen luotaus perustuu maakerrosten erilaisen sähkönjohtokyvyn mittaamiseen. Mittauslaitteiston elektrodivälejä muuttamalla saadaan eri mittauskerroilla havaittuja potentiaalieroja tulkitsemalla selville maakerrosten rajapinnan syvyys. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 285.)

Radiometrisillä luotauksilla voidaan mitata maan tiiviyttä ja vesipitoisuutta maanpinnan tasolla tai porareiässä. Radiometrisissä luotauksissa tiiviyden selvittämiseksi käytetään gammasäteilyä ja vesipitoisuuden selvittämiseksi ns. hitaita neutroneja. Mittauslaitteet lähettävät radioaktiivista säteilyä, joten niiden käyttöön liittyy työturvallisuusongelmia. Laitteiston käyttäjiltä vaaditaankin erityistä ammattitaitoa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 286.)

### 2.2.6 Pohjavesitutkimukset

Pohjatutkimuksissa tehdään lähes aina havaintoja ja tutkimuksia pohjaveteen liittyen. Tärkeitä tutkittavia asioita pohjarakentamisen kannalta ovat pohjavedenpinnan syvyys, pohjavedenpinnan vaihtelut, huokosvedenpaine, pohjaveden laatu ja sen virtausmäärät. Pohjavedenpinnan korkeudesta tehdäänkin havaintoja lähes kaikissa pohjatutkimuksissa. Huokosvedenpaine tulee mitata erityisesti silloin, kun sillä on merkittävästi vaikutusta maan leikkauslujuuteen. Pohjavedenpinnan korkeus voidaan selvittää varta vasten asennettujen pohjavesiputkien lisäksi mm. kairaus- ja näytteenotto-

rei'istä, avovesistöistä ja kaivoista. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 280.)

Pohjavedenpinnan korkeusasema vaikuttaa merkittävästi pohjamaan ominaisuuksiin ja perustusten toimivuuteen. Hyvin vettä läpäisevissä kitkamaalajeissa pohjavedenpinnan korkeus voi vaihdella vuoden aikana jopa 1...5 metriä. Pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee vuodenajan ja paikan mukaan, lisäksi maanpinnan muodoilla ja maan vedenläpäisevyydellä on vaikutusta pohjavedenpinnan korkeuteen. (Kyyrönen 2007, 229.)

### 2.3 Laboratoriotutkimukset

Mikäli näytteiden epäluotettavuuden tai selväpiirteisyyden vuoksi ei tyydytä vain silmävaraisiin arviointeihin, on maanäytteet tutkittava laboratoriossa. Häiriintyneistä näytteistä tärkeimpiä ovat rakeisuustutkimukset. Humuspitoisuus tutkitaan vain sen ollessa tarpeellista ja vesipitoisuus tutkitaan, mikäli se on tarpeellinen ja näytettä voidaan pitää tältä osin luotettavana. Pohjavedenpinnan alapuolisten häiriintyneiden näytteiden vesipitoisuus muuttuu näytteenotossa yleensä ratkaisevasti, joten tutkimus ei tältä osin anna oikeaa kuvaa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 280.)

Jos näyte saadaan otettua häiriintymättömänä, niin edellä mainittujen lisäksi voidaan tutkia tilavuuspaino tai irtotiheys luonnontilaisena, lujuusominaisuudet ja kokoonpuristuvuusominaisuudet. Näiden tutkimusten tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä maakerrosten käyttäytymisestä erilaisissa rakentamistilanteissa. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 280.)

### 2.4 Pohjatutkimusraportti

Geoteknisistä tutkimuksista tulee koota pohjatutkimusraportti. Pohjatutkimusraportti sisältää usein kaikkien käytettävissä olevien geoteknisten tietojen esittelyn sisältäen geologiset piirteet ja muut kyseeseen tulevat tiedot sekä tietojen teknisen arvioinnin, jossa esitetään koetulosten tulkinnessa tehdyt oletukset. (RIL 207-2009, 79.)

Geoteknisten tietojen esittelyn tulee sisältää kaikkien kenttä- ja laboratoriotöiden todenperäinen kuvaus ja dokumentointi kenttä- ja laboratoriokokeissa käytetyistä menetelmistä. Geologisten tietojen arvioinnin tulee sisältää soveltuvin osin kenttä- ja laboratoriotöiden tarkastelun, geoteknisten parametrien johdettujen arvojen tarkastelun ja

ehdotuksen tarvittavista täydentävistä kenttä- ja laboratoriotutkimuksista perustelui-  
neen. Tarkemmin pohjatutkimusraportin sisällöstä säädetään EN 1997-2 kohdassa 6.  
Pohjatutkimusraportti. (RIL 207-2009, 79.)

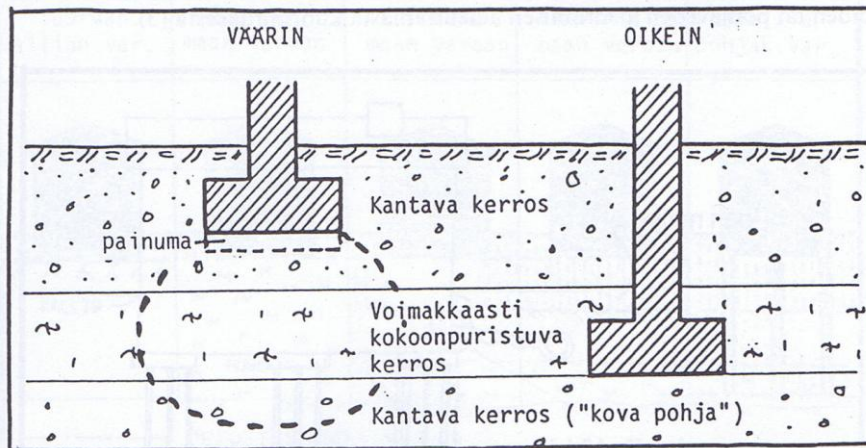
Helppoissa pohjarakentamiskohteissa, joissa varsinaisia pohjatutkimuksia ei katsota  
välttämättömiksi tehdä, riittää toimenpiteeksi usein asiantuntijan laatima perustamis-  
tapalausunto, jossa soveltuvat pohjarakentamismenetelmät on lyhyesti esitetty.

### 3 PERUSTAMISTAVAT

#### 3.1 Yleistä

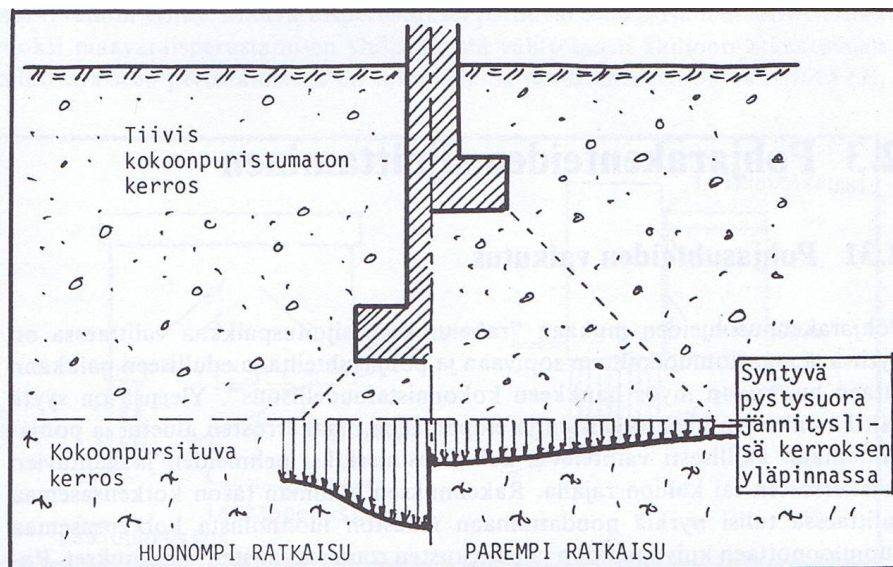
Perustus on rakenneosana, jonka tarkoituksena on siirtää sen yläpuolisen rakennuksen tai  
rakennelman kuormat maa- tai kalliopohjalle, niin, että maanpohjan kantavuus ei vaa-  
rannu ja että perustusten painumat ja niistä johtuvat muodonmuutokset pysyvät vähäi-  
sinä. Perustukset on suunniteltava siten, että ne voidaan toteuttaa taloudellisesti ja tur-  
vallisesti. Perustustöillä ei saa vaarantaa lähellä olevien rakenteiden kestävyttä ja säi-  
lymistä, eikä tarpeettomasti vaikeuttaa lähiympäristön tulevaa rakentamista. (Ranta-  
mäki & Tammirinne 1979, 19.)

Rakennuksen sijaintipaikkaa valittaessa tulisi mahdollisuuksien pyrkiä rakentamaan  
maastomuodoiltaan ja pohjasuhteiltaan edulliselle alueelle, huomioiden myös hank-  
keen kokonaistaloudellisuus. Perustamissyvyyden valinta on perustusten suunnittelun  
tärkeimpiä vaiheita ja se riippuu täysin vallitsevista pohjasuhteista. Maaperässä, jossa  
on useita ohuita ja pehmeitä maakerroksia, perustukset tulisi sijoittaa aina näiden ker-  
rosten läpi, kantavalle maapohjalle (Kuva 5.). (Rantamäki & Tammirinne 1979, 21-  
22.)



Kuva 5. Lähellä maanpintaa olevan kokoonpuristusvan kerroksen vaikutus perustamissyvyyden valintaan. (Rantamäki & Tamminen 1979, 22)

Maaperässä, jossa paksu kantava kerros on lähellä maanpintaa, mutta sen alapuolella on pehmeitä maakerroksia, tulisi painumien minimoimiseksi perustamissyvyys valita mahdollisimman pieneksi (Kuva 6.). (Rantamäki & Tamminen 1979, 22).



Kuva 6. Syvällä olevan paksun kokoonpuristuvan kerroksen vaikutus perustamissyvyyteen. (Rantamäki & Tamminen 1979, 22)

Pohjarakenteiden sijoittamisessa tulee ottaa huomioon myös alueen pohjavedenpinta. Pohjavedenpinnan alapuolelle perustettaessa etenkin hienorakeisten maalajien alueella syntyy painumia ja paalukuormien lisääntymistä pohjavedenpinnan laskemisen vuoksi, joka johtuu pohjarakenteiden kuivatuksesta. Alueen pohjavedenpinnan aleneminen voi aiheuttaa haittaa myös lähellä sijaitsevien rakennusten pohjarakenteille. (Rantamäki & Tamminen 1979, 23.)

### 3.2 Maanvaraiset perustukset

Maanvaraisen perustuksen pohjamaana voi olla luonnontilainen maapohja, vaihdettu maa tai maanpinnalle tehty täyte tai vahvistettu maapohja. Maanvaraisesti rakennettujen perustusten perusrakennetyyppejä ovat perusmuuri-, pilari- ja laattaperustus. Perusmuuri- ja pilariperustuksen yhteydessä käytetään lähes aina pohjapainetta pienentävää anturaa, joten perustukset voidaan lajitella kahteen pääryhmään: anturaperustukset ja laattaperustukset. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 32.)

Rakennettaessa tiiviille moreeni- tai soramaille ei normaalitapauksissa synny suuria painumia. Karkearakeisille pohjamaille perustettaessa on yleensä tyypillistä, että painumat ovat pieniä ja syntyvät usein lyhyessä ajassa. Painumat on kuitenkin tarkastettava aina perustettaessa löyhille karkearakeisille maalajeille. (Jääskeläinen 2009, 40.)

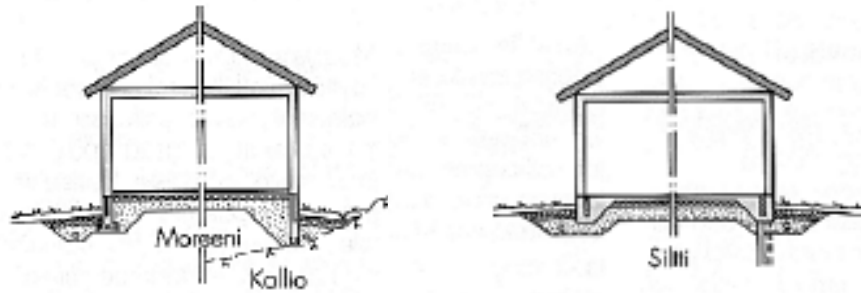
Hienorakeisille maalajeille perustettaessa painumat ovat pitkäaikaisia ja voivat jatkua jopa vuosia riippuen puristuvien kerrosten paksuudesta ja laadusta. Painumalaskelmat ovatkin hienorakeisissa maalajeissa perustoimenpide, ja niissä tulisi olettaa pohjavedenpinnan laskeutuvan ajan kanssa yhden metrin. Hienojakoiset maat ovat arkoja painumaan pohjavedenpinnan alenemisen takia. (Jääskeläinen 2009, 40.)

Täytemaakerroksille, joille ei ole tehty asiallisia pengerryssuunnitelmia ja valvottua toteutusta, ei tule perustuksia sijoittaa. Eloperäisissä maissa suurta konsolidaatiopainumaa seuraa vuodesta toiseen jatkuvia jälkipainumia, jonka takia eloperäisille maille perustaminen on kiellettyä. (Jääskeläinen 2009, 40.)

Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan rakennuspohjan tiivistymisestä, eli maapohjan tilavuuden pienenemisestä johtuvaa painumaa. Hienorakeisten maalajien suuren huokosluvun ja vesipitoisuuden johdosta konsolidaatiopainuminen saattaa olla runsasta, ja se on sitä runsaampaa, mitä vesipitoisempaa maakerros on. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 210.)

Matala perusmuurianturaperustus on yleisin pientalojen perustamistapa (Kuva 7.), jonka alapohja voi olla joko maanvarainen tai kantava. Perusmuuri voidaan valaa, joko betonista, tai muurata kevytsoraharkoista, joka on nykyisin yleisin perusmuurin rakennustapa. (Suortti-Suominen 1995, 32.)

Laattaperustuksissa kuormitukset siirretään yhtenäisen reunavahvistetun laatan avulla maapohjalle. Laattaperustuksen etuja ovat sen yksinkertainen ja taloudellinen rakenne. Laattaperustus ulottuu usein vain noin 0,3 - 0,5 metriä ympäröivää maanpintaa alemmas, mikä vähentää maankaivua ja massanvaihtoa. Laattaperustus ei kuitenkaan sovi käytettäväksi, mikäli rakennuspaikalla on suuria korkeuseroja. (Suortti-Suominen 1995, 32.)



Kuva 7. Perusmuuriperustus maanvaraisella alapohjalla ja laattaperustus. (Rakennustieto Oy 1992)

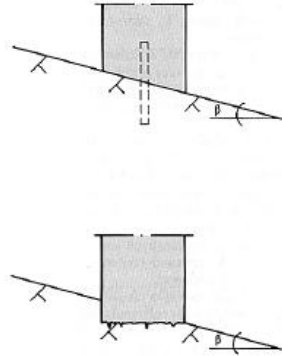
### 3.3 Kalliolle perustaminen

Kallion ollessa maanpinnan läheisyydessä on teknisesti ja taloudellisesti suotuisaa perustaa rakenteet suoraan kallion varaan. Merkittävin ero maanvaraiseen perustamistapaan verrattuna on siinä, että ehjä rapautumaton kallio on käytännössä kokoonpuristumaton ja routimaton. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 26.)

Kalliolle rakentaminen on yleensä sitä edullisempaa, mitä suurempia kuormituksia rakennuksesta maapohjalle tulee. Kalliolle rakennettaessa joudutaan kuitenkin lähes aina louhimaan rakennuksen alta, etenkin reittejä putkilinjoille. Omakotitalojen ja rivitalojen kuormituksille tarvittava kantavuus saavutetaan kuitenkin jo löyhiltä hiekkapohjilta ja kiinteiltä siltti- ja savipohjiltakin. Kaivu- ja täyttötöiden edullisuus verrattuna kalliopohjan louhimiseen kustannuksiin voi tehdä kuitenkin maanvaraisesta perustamisesta edullisemmän vaihtoehdon, asia on kuitenkin tapauskohtainen. (Jääskeläinen 2009, 24.)



Kalliolle perustettaessa perusmuurilta ei vaadita pituussuuntaista jäykkyyttä, vaan perusmuuri voidaan periaatteessa tehdä ilman raudoitusta. Kalliolle perustettaessa ei myöskään tarvita erillisiä anturoita, vaan perusmuuri tai pilarit voidaan valaa suoraan tasaiselle luonnolliselle, tai louhitulle kalliolle. Kalliopinnan ollessa vino käytetään tarpeen mukaan terästartunjoja tai kalliopinta tasataan louhimimalla liukumisen estämiseksi (Kuva 8.). (Rakennustieto Oy 1992.)

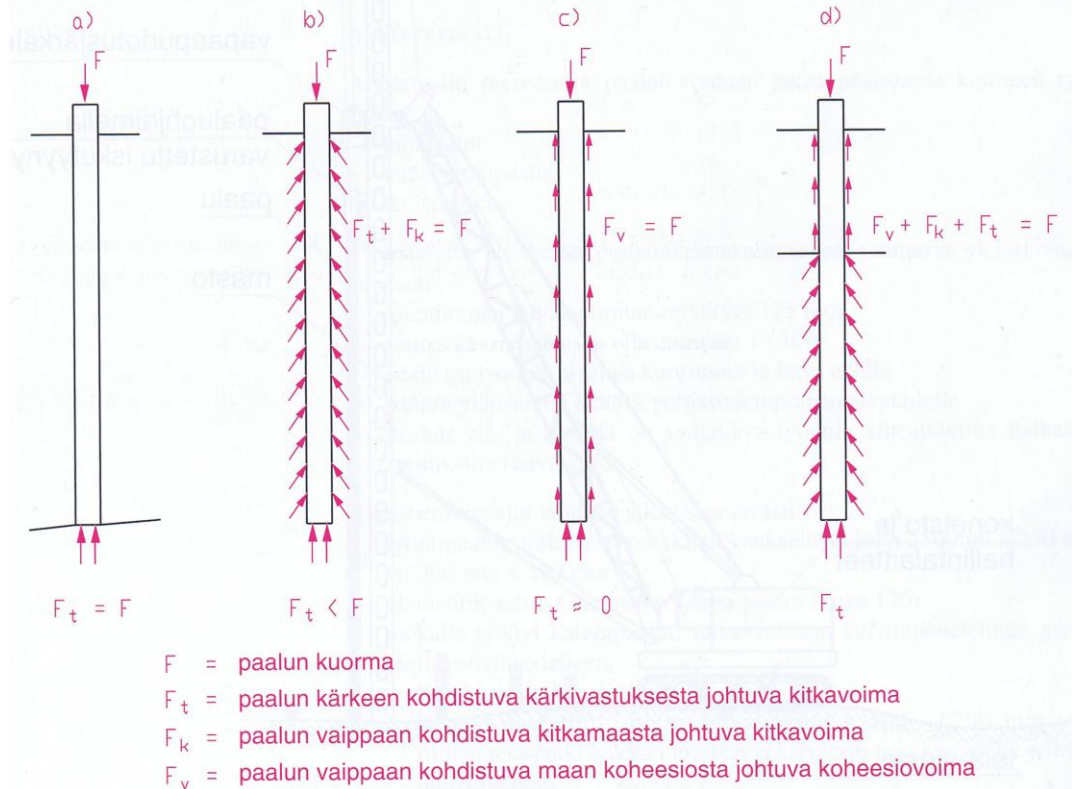


Kuva 8. Perustusten ankkurointi tai kalliopinnan tasaus louhimimalla kalliopinnan ollessa vino ( $\beta > 15^\circ$ ). (Rakennustieto Oy 1992)

### 3.4 Paaluperustukset

Paaluperustusten käyttö tulee kyseeseen silloin, kun rakennuksen perustaminen muuten ei ole mahdollista painumien, siirtymien, kiertymien tai joidenkin muiden syiden, kuten läheisten rakennusten sijainnin tai perustamistavan vuoksi. Paalujen käyttö on vuosien varrella muuttunut oleellisesti. Puupaaluja käytetään nykyisin usein vain kunnallistekniikassa ja teiden rakentamisessa. Teräsbetonisten paalujen käyttö on yleisempää tavanomaisessa rakentamisessa ja hankkeissa, joissa vaaditaan suurta kestävyyttä. Teräspaalujen käyttö on nousussa ja se on yleistä varsinkin pientalojen rakenteissa. Paalujen käytön lisääntymisen syynä on se, että hyvät rakennusalueet on jo rakennettu, ja nykyisin rakennetaan pohjaolosuhteiltaan huonoillekin alueille, joita on ennen vältetty, mutta jotka ovat haluttuja sijaintinsa ansiosta. (Jääskeläinen 2009, 52-53.)

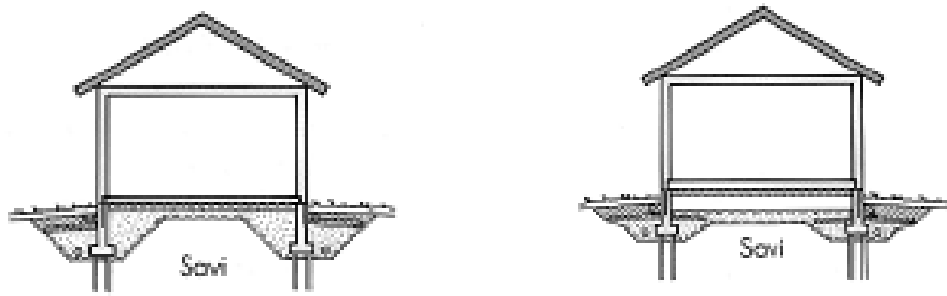
Paaluperustuksissa sokkelipalkit tuetaan kantavaan maaperään tai kallioon paalujen avulla sen mukaan, miten syvällä kantava maapohja on. Paalut voidaan jakaa toimintatapansa perusteella neljään ryhmään: tukipaalut, kitkapaalut, koheesiopaalut ja välimuotopaalut (Kuva 9.). (Suortti-Suominen 1995, 32-33.)



Kuva 9. Paalutyypin ryhmittely toimintatavan mukaan: a) tukipaalu, b) kitkapaalu, c) koheesiopaalu, d) välimuotopaalu. (Kyyrönen 2007, 327)

Pientalojen perustuksissa käytettävät paalut ovat yleensä teräs- tai teräsbetonitukipaaluja, jotka lyödään tiiviiseen maakerrokseen tai kallioon. Lyhyin sallittu paalujen pituus on 1,5 metriä. Alle kahden metrin paalupituuksilla on yleensä edullisempaa käyttää esimerkiksi pilariperustusta. (Rakennustieto Oy 1992.)

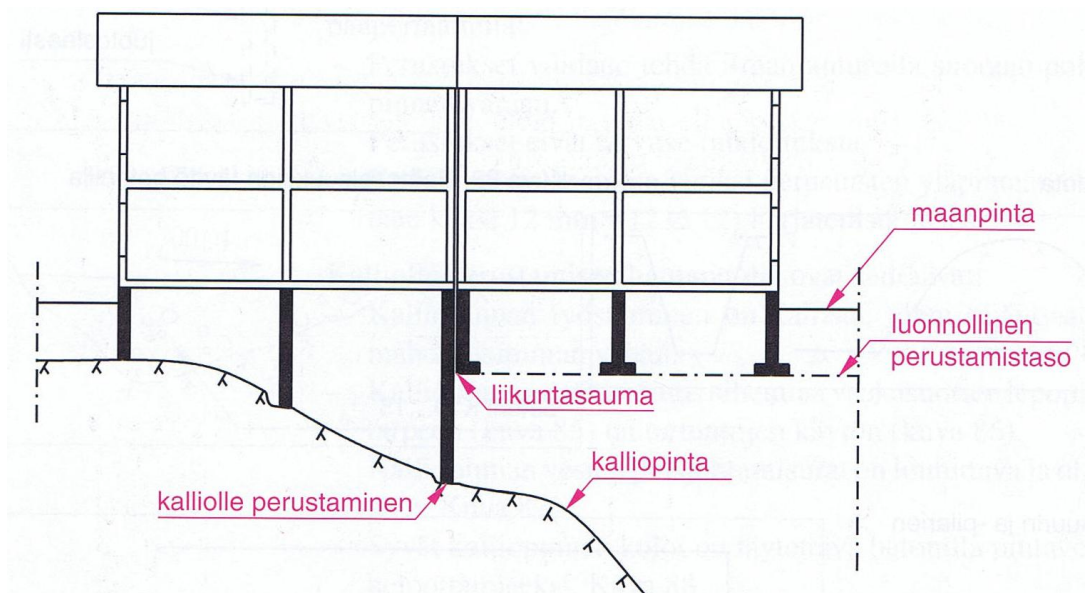
Paaluille perustetussa pientalossa alapohjarakenteet tehdään kantavina ja usein myös tuuletetulla ryömintätilalla (Kuva 10.). Kantava alapohja voidaan valaa myös maata vasten. (Rakennustieto Oy 1992.)



Kuva 10. Paaluperustuksia sekä maata vasten valettu ja ryömintätalallinen kantava alapohja. (Rakennustieto Oy 1992)

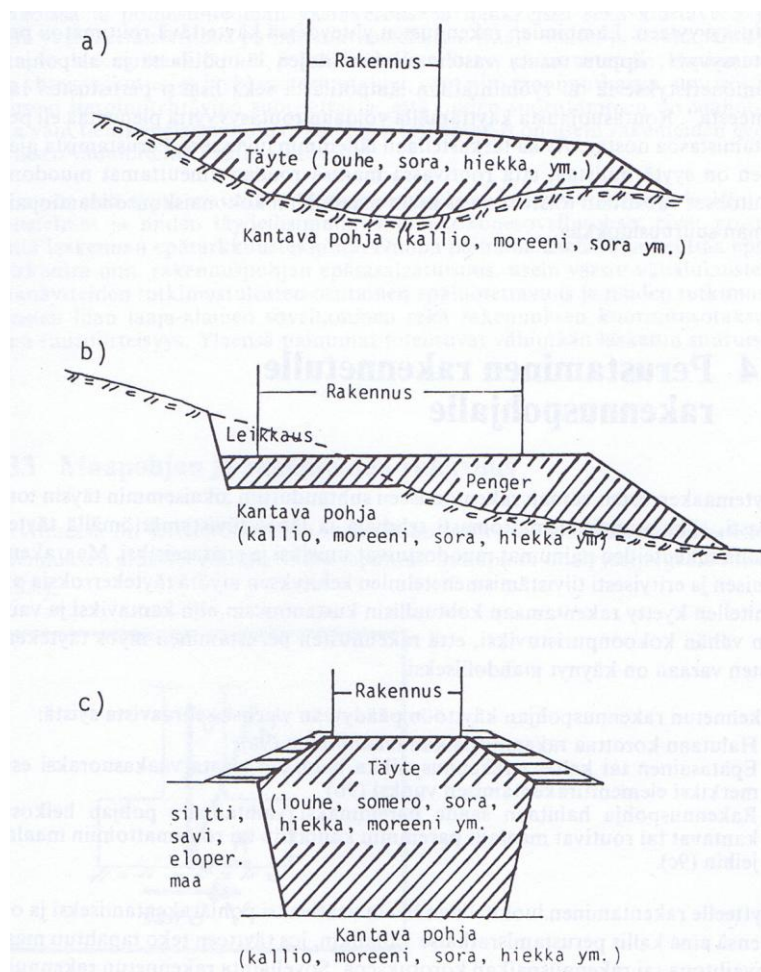
### 3.5 Muut perustamistavat

Muut perustamistavat ovat yleensä tavanomaisten perustamistapojen yhdistelmiä. Maaperän vaihtelevuus saattaa edellyttää eri perustamistapojen käyttöä samassa rakennuksessa. Yleisiä esimerkkejä ovat kallio- tai maanvaraisperustus tai paalu- tai maanvaraisperustus. Tällaisissa tilanteissa maanvaraisesti perustetun alueen osat tulee suunnitella siten, että raja-alueilla mahdolliset painumaerot eivät aiheuta vaurioita rakennukselle, tai eri tavalla perustetut osat tulee erottaa toisistaan liikuntasaumoin (Kuva 11.). (Suortti-Suominen 1995, 35.)



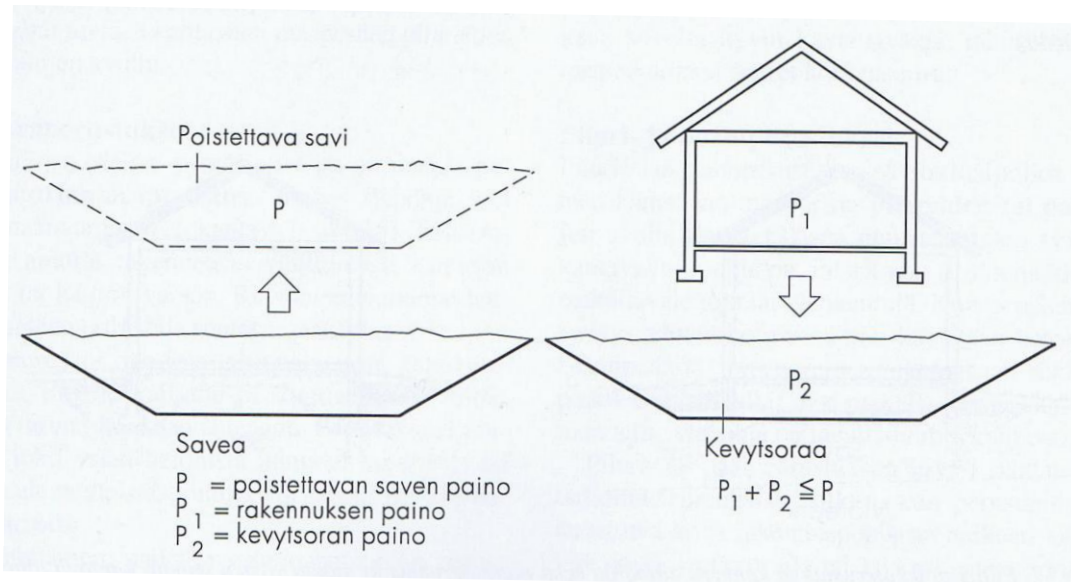
Kuva 11. Liikuntasauvan käyttö sekaperusteisessa rakennuksessa. (Kyyrönen 2007, 294)

Rakentamiselle epäsuotuisilla alueilla rakennus on mahdollista perustaa rakennetun maapohjan varaan (Kuva 12.). Täytemaakerroksille rakentamista on pyritty välttämään, koska suunnittelemattomasti tehdyllä ja lähes tiivistämättömällä täytemaalla rakenteiden painumat ovat suuria ja epätasaisia. Täytemaalle rakentaminen on vaativa ja kallis perustamisratkaisu. Rakennetun rakennuspohjan alustalta edellytetään riittävää kantavuutta kestääkseen varsinaisten rakennuksen kuormien lisäksi myös täytteen painon. Rakennettuun maapohjaan päädytään yleensä vain jos tuleva rakennus on kevyt-rakenteinen ja rakenteeltaan pieniä painumaeroja sietävä. (Rantamäki & Tamminen 1979, 39-41.)



Kuva 12. Perustaminen täytölle. (Rantamäki & Tamminen 1979, 40)

Huonosti kantavalla rakennuspohjalla paaluperustuksen sijasta voidaan käyttää myös kevennysperustusta (Kuva 13.). Periaatteena on, että rakennuksen kohdalta poistetaan niin paljon koheesiomaata, kuin tuleva rakennus ja täyttömaa yhdessä painavat. (Suortti-Suominen 1995, 34.)



Kuva 13. Kokonaiskevennyksen periaate. (Suortti-Suominen 1995, 34)

Kevennysperusteisessa vaihtoehdossa pohjamaalle kohdistuva kuormitus ei lisäännä luonnontilaiseen verrattuna, eikä pohjamaa tule siksi jatkossa kokoonpuristumaan. Samalla kevyt täyttömaa, kevytsora, toimii lattian lämmöneristeenä, routasuojauksena sekä salaojituskerroksena. Pihojen routiminen ja rakennuksen seinän vierustojen painuminenkin estetään, mikäli ohut täyttemaakiila ulotetaan reilusti rakennuksen ympärille. (Suortti-Suominen 1995, 34.)

## 4 RAKENNUSTEN PAINUMIEN SYNTY JA NIIDEN KORJAAMINEN

### 4.1 Yleistä

Rakennusten ja sen ympäröivän maan voidaan katsoa painuvan aina jossain määrin. Ongelmatapauksia tulee kuitenkin perustettaessa rakennuksia maanvaraisesti heikosti kantavalle maapohjalle, jossa suuri kokonaispainuma tai rakennuksen epätasainen painuma muodostuu haitalliseksi. Paaluille ja kalliolle perustettaessa painumia ei ilmene ja perustettaessa hyvälle kitkamaalajeille painumat rajoittuvat lähes pelkästään rakennusaikaiseen alkupainumaan, joka ei ole useinkaan rakennukselle ja sen rakenteille haitallista. Heikolle maapohjalle perustettaessa alkupainuman lisäksi ilmenee usein konsolidaatiopainumia, jotka ovat usein epätasaisia. Kokonaispainuman voidaan katsoa koostuvan alku- ja konsolidaatiopainuman lisäksi sivusiirtymien aiheuttamasta painumasta ja jälkipainumasta. Sivusiirtymien aiheuttama painuma ja jälkipainuma ovat kuitenkin varsin vähäisiä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 207-210.)

Teoreettisesti tarkasteltuna kitkamaakerrosten kokonaispainuma voidaan laskea seuraavasti:

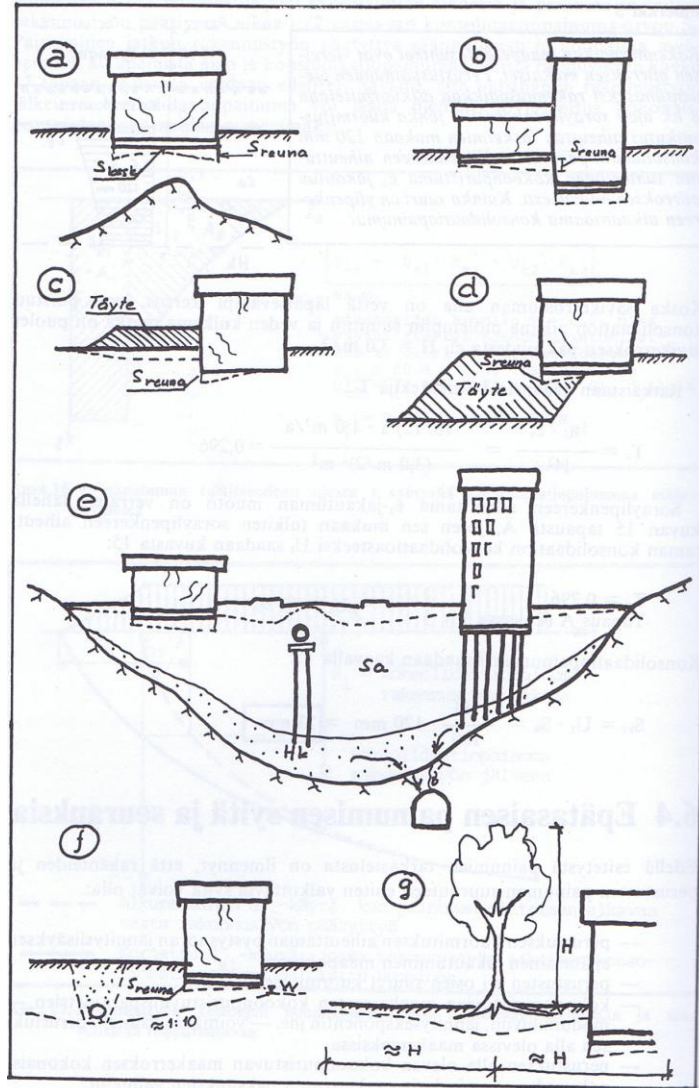
$$S = S_i + S_k + S_\tau + S_s,$$

jossa  $S_i$ = alkupainuma,  
 $S_k$ = konsolidaatiopainuma,  
 $S_\tau$ = sivusiirtymien aiheuttama painuma,  
 $S_s$ = jälkipainuma.

Sivusiirtymien aiheuttaman painuman ja jälkipainuman ollessa merkityksettömän pieniä, voidaan yksinkertaistaa kokonaispainuman koostuvan alkupainuman ja konsolidaatiopainuman summasta. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 207.)

Kitkamaakerroksissa, joissa vedenläpäisevyys on suuri, konsolidaatiopainuma tapahtuu yleensä nopeasti kuormituksen lisääntyessä, eikä tämän vuoksi ole helposti erotettavissa alkupainumasta. Puolestaan koheesiomaalajeissa, jossa vedenläpäisevyys on heikkoa, on usein konsolidaatiopainumatkin hitaita ja pitkäaikaisia. Huonosti vettä läpäisevissä maalajeissa kuormituksen lisäys aiheuttaa maaperään huokosveden ylipainetta, mikä pyrkii purkautumaan suuntiin, jossa veden virtausvastus on pienin. Ylipaineen purkautuessa kuormituksen alainen maaperä kokoonpuristuu ja aiheuttaa painumia. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 209-212, 226.)

Epätasaisien painumien suurimpia syitä ovat perustusten eri osien kuormituserot ja perustusten alapuolisten maakerrosten kokoonpuristuvuusparametrien ja kerrospaksuuksien vaihtelut. Perustusten alapuolisten maakerrosten kuormitustilanne saattaa muuttua esimerkiksi pohjavedenpinnan alenemisen seurauksena, mikä voi johtua alueen muusta rakentamisesta ja kuivatuksesta. Pohjavedenpinnan aleneminen saattaa aiheuttaa alempien maakerrosten kokoonpuristumista ja maapohjan ja perustusten painumista. Kuvassa 14 on esitetty yleisimpiä epätasaisien painumien syitä. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 231.)



Kuva 14. Epätasaisen painuman syitä ja seurauksia. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 230)

Rakennuksen epätasaiset painumat ilmenevät esimerkiksi rappauksen halkeiluna sokkelissa, seinässä, palomuureissa ja hormeissa. Ikkunoiden ja ovien aukeamattomuus voi olla myös merkki rakennuksen epätasaisesta painumisesta. (Museoviraston korjauskortisto 2003.)

## 4.2 Pohjarakentamisen ongelmatapaukset

### 4.2.1 Perustaminen täyttöalueille

Maaperää, joka ei ole luonnollisesti muodostunut, vaan sinne on ajettu esimerkiksi muilta rakennustyömailta poistettua pintamaata, kutsutaan täyttömaaksi. Täyttömaille rakentaminen on hankalaa, koska ne eivät ole tasalaatuisia ja ne saattavat sisältää jopa

orgaanisia, hajoavia aineksia kuten kantoja, jotka mädäntyessään aiheuttavat ongelmia. Tällaisilla alueilla epätasaiset painumat ovat yleisiä, ja niiden vaikutukset voivat tulla esiin vasta monien vuosien päästä. (PowerPile Oy 2013.)

Rakennettaessa alueille, joille on aikaisemmin tehty esimerkiksi täyttöjä ja tehtyjen töiden dokumentointi on ollut puutteellista, voi aiheuttaa ongelmia tulevaisuudessa. Epäiltäessä maaperän mahdollista pilaantumista tulee yleensä ensin selvitettäväksi alueen aikaisempaa toimintaa. Jos aikaisempi toiminta antaa viitteitä mahdollisesta maaperän pilaantuneisuudesta, selvitetään kenttä- ja laboratoriokokein pilaantumisen laatu ja laajuus. (Jääskeläinen 2009, 19.)

Täyttöalueille maanvaraisesti perustettaessa ei aikaisemmin ole kiinnitetty mahdollisiin riskeihin niin suurta huomiota kuin nykyisin. Täyttömaan käyttäytymistä perustusmaaperänä on vaikea ennakoida sen vaihtelevuuden vuoksi ja tämän takia täyttömaille maanvaraisesti perustettaessa tulisi tehdä laajat pohjatutkimukset. Rakennuspohjan rakennevaurioiden lisäksi painumat ja siirtymät voivat aiheuttaa ongelmia esimerkiksi vesijohto- ja viemäriiliitoksissa. Liialliset painumat voivat johtaa jopa liitosten murtumiseen.

#### 4.2.2 Sekaperusteinen rakennus

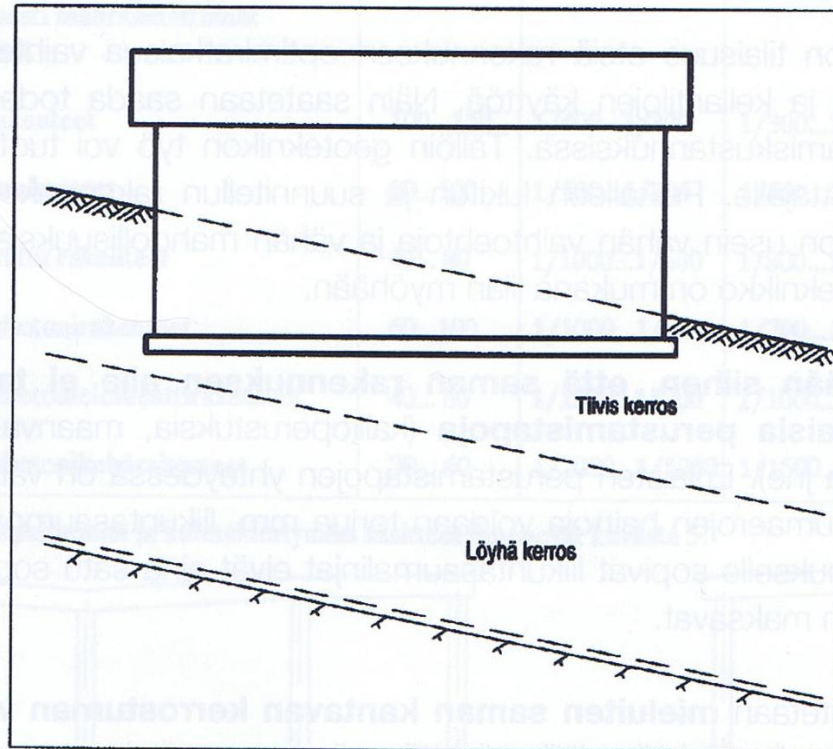
Sekaperusteisissa rakennuksissa ongelmia voi ilmetä esimerkiksi silloin kun toinen rakennuksen osa on perustettu painumattomasti, kalliolle tai paaluille, ja toinen maanvaraisesti. Maanvaraisesti perustetun osan painuminen saadaan usein hallintaan liikuntasaumoin, mutta painuminen voi aiheuttaa silti silmännähtäviä vaurioita rakennukselle. Joten tällaiset perustamisratkaisut eivät ole suositeltavia. Sekaperustusta käytettäessä suositeltavaa olisikin käyttää yhdessä kallionvaraista perustusta ja kallioon ulottuvaa tukipaaluperustusta, koska painumia tai painumaeroja ei tällöin synny. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 20.)

#### 4.2.3 Maanvaraisesti perustetut tai kevennysperusteiset rakennukset vaihtelevalla maapohjalla

Vaihteleva maapohja saattaa aiheuttaa myös painumaongelmia reuna-alueilla. Siksi rakennukset tulisikin sijoittaa mieluiten aina saman kantavan maakerroksen varaan. Kantaville rakenteille tavoitellaan yhtenäistä pohjaa, koska esimerkiksi tiiviiltä moreenilta löyhälle siltille siirryttäessä syntyy miltei aina painumaeroja. Maapohjan ker-



rospaksuudet tulisi selvittää ennen rakentamista, ja tavoitteena olisikin saada mahdollisimman homogeeninen ja tiivis kerros perustusten alle painumaerojen välttämiseksi. Esimerkiksi rinteissä, joissa maaperän kerrosrajat kulkevat vinosti perustamistasoon nähden, perustamistaso tulisi valita huolella painumaerojen välttämiseksi (Kuva 15.). (Jääskeläinen 2009, 47-48.)



Kuva 15. Periaatteellisesti väärin valittu perustamistaso. (Jääskeläinen 2009, 48)

#### 4.2.4 Perustaminen ilman pohjatutkimuksia

Perustaminen ilman varsinaisia pohjatutkimuksia ei pitäisi enää nykyisin olla mahdollista tiukentuneen valvonnan ansiosta. Joskus riskien ottaminen tässä suhteessa oli yleistä, sillä aikaisemmin on rakennuksia perustettu pelkän maastokatselmuksessa tehtävien oletuksien perusteella.

Maastokatselmuksessa ja perustamiskaivantoa tehdessä ei saa tietoa kuin pintamaiden laadusta ja alemmat maakerrokset jäävät helposti arvailujen varaan. Mahdollista kuitenkin on, että perustamistason alapuolelta löytyy epätasaisia savikerrostumia tai muita heikosti kantavia maakerroksia. Nämä saattavat olla helposti kokoonpuristuvia. Jo pohjavedenpinnan aleneminen saattaa aiheuttaa rakennuksen painumisen.

Ilman pohjatutkimuksia rakennetuille alueille painumien ilmetessä joudutaankin jälkikäteen tekemään laajat pohjatutkimukset. Vaurioiden korjaamiseksi tai pysäyttämiseksi on tehtävä kalliita korjaustoimenpiteitä, joilta olisi säästyttävä tekemällä laadultaan ja laajuudeltaan riittävät pohjatutkimukset rakennushankkeen alkuvaiheessa. Silloin pohjarakennustoimenpiteet olisi voitu valita ja mitoittaa oikein.

#### 4.2.5 Muita ongelmatapauksia

Rakennuksen laajentamista suunniteltaessa tulee tuntea kohde ja sen maaperä erittäin hyvin. Rakennemuutokset tai lisäkerroksen rakentaminen aiheuttaa maapohjassa kuormitustilan muutoksen, josta voi johtua maanvaraisesti perustetun rakennuksen painuminen, ellei perustuksia samanaikaisesti vahvisteta. Laajennusosien perustamisen suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota laajennusosan liitokseen vanhan osan kanssa. Sivullepäin laajennettaessa perustukset olisivat suotavaa tehdä yhtenäisenä jäykkänä rakenteena, mikä ei salli epätasaisia painumia. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 212.)

Viereisten tonttien rakentaminen, tai rakentaminen ympäristössä, voi aiheuttaa suuria ongelmia tulevaisuudessa, mikäli se tehdään huolimattomasti ja viereisiä rakennuksia huomioonottamatta. Viereiselle tontille rakentaminen saattaa laskea alueen pohjavedenpintaa tontin kuivatuksen seurauksena. Pohjavedenpinnan aleneminen etenkin savi- ja silttimailla aiheuttaa painumia. Pohjavedenpinnan alenemisen takia myös aikaisemmin enemmän käytettyjen puupaalujen yläpäät ovat lahonneet, mikä on johtanut perustusrakenteiden korjaustoimenpiteisiin. Myös rakentaminen itsessään laskee pohjavedenpintaa. Vedet poistetaan katoilta ja pihamailta päällysteiden avulla nykyisin hallitusti suoraan putkistoihin niin nopeasti, että veden imeytyminen maahan ja uuden pohjaveden muodostuminen jää olemattomaksi. Alueen rakentamisen ja lisääntyneiden liikennemäärien aiheuttama tärinä voi johtaa myös rakennuksen painumiin. Myös roudan aiheuttamia epätasaisia painumia ilmenee, etenkin puolilämpimissä rakennuksissa, kuten kesämökeissä, joissa on tingitty kalliiksi koetuista routasuojauksista. (Jääskeläinen 2009, 222-223.)

Alueella tehtävät kaivanto- ja paalutustyöt voivat vahingoittaa ympäristössä olevia rakennuksia monella tavalla. Rakennuksen perustuksien välittömään läheisyyteen tehtävien kaivantojen tukeminen on erittäin tärkeää. Tukiseinän siirtyessä tai kallistuessa perustuksen alla oleva maa voi valua pois ja aiheuttaa painumia. Paalutustyön aiheut-

taman tärinän lisäksi vahingollista on työstä aiheutuva maan sivusiirtyminen, joka ulottuessaan viereisen rakennuksen perustusten alle aiheuttaa rakennevaurioita. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 212.)

Etenkin yksityisellä kertarakentajalla ongelmia voi syntyä, jos rakennushankkeen alkuvaiheessa päätetään karsia kustannuksia säästämällä pohjatutkimuksissa ja suunniteltaessa perustusrakenteet esimerkiksi oletuksien tai naapurirakennusten rakennustyyppien mukaisesti. Tällaisissa tapauksissa kustannussäästö rakennusvaiheessa on olematon verrattuna kustannuksiin, jotka syntyvät painumien ilmetessä ja korjaustöitä tehdessä.

### 4.3 Korjausmenetelmiä

#### 4.3.1 Yleistä

Aikaisemmin perustukset on rakennettu pelkästään kokemusperäisesti ja vaistonvaraisesti. Rakennuksia on jouduttu rakentamaan heikosti kantaville maaperille ja perustusten vaurioita on ilmennyt lisääntyvissä määrin. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 209.)

Syitä perustusten vaurioitumiseen voi olla useita ja korjaustöihin kannattaakin ryhtyä ajoissa ennen kuin vauriot vaikuttavat selvästi rakennuksen käyttöön ja asumismukavuuteen. Yleisimpiä syitä perustusvaurioihin ovat perustusten suunnittelu puutteellisten pohjatutkimusten perusteella ja täten soveltumaton perustamistapa, rakenneosien mitoitusvirheet ja huolimaton työ. Myös rakennuksen ympäristössä tapahtuneet muutokset kuten viereisten tonttien kuivatus, louhinta ja lisääntynyt liikenteestä johtuva tärinä voivat aiheuttaa vaurioita perustuksiin. (Suortti-Suominen 1995, 111.)

Korjaustoimenpiteet ovat kuitenkin usein kalliita, ja niiden kannattavuus tulee aina arvioida tapauskohtaisesti vaurioiden laajuuden ja kiinteistön käyttötarkoituksen ja arvon perusteella. Toimenpiteiden oikeellisuuden varmistamiseksi painumavaurioita tulee yleensä tarkkailla pidemmän aikaa, jotta saadaan selvitettyä, onko painuma pysähtynyt vai jatkuuko se edelleen. Painumien lisääntyessä on sen jatkuminen estettävä ennen vaurioiden korjaamista. (Suortti-Suominen 1995, 111,115.)

Opinnäytetyön yhteydessä tehdyissä asiantuntijahaastatteluissa kävi ilmi, että rakennusten painumien ilmeneminen ja niistä tulevat toimeksiannot korjaustöiden suunnit-

teluun eivät ole alan suunnittelitoimistoissa suuri työllistäjä. Tällaisia tapauksia ilmenee kuitenkin satunnaisesti ja usein ne yhdistyvät kiinteistön myyntitilanteisiin. Yleisin painumien aiheuttaja on asiantuntijoiden mukaan rakennusten perustaminen puutteellisten pohjatutkimusten perusteella. Yleisin korjausmenetelmä on perustusten kuormien siirtämisen teräspaaluille ja tämän jälkeen lattioiden nosto uretaanimenetelmällä, joihin pureudutaankin tarkemmin jäljempänä.

#### 4.3.2 Maapohjan vahvistaminen

Maapohjan vahvistamisella tarkoitetaan maakerrosten geologisten ominaisuuksien parantamistoimenpiteitä. Pohjanvahvistuksella pyritään lisäämään maan kantokykyä painumien pysäyttämiseksi. Korjausrakentamiseen soveltuvia pohjanvahvistusmenetelmiä ovat esimerkiksi maainjektointi ja syvästabilointi. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 190-191.)

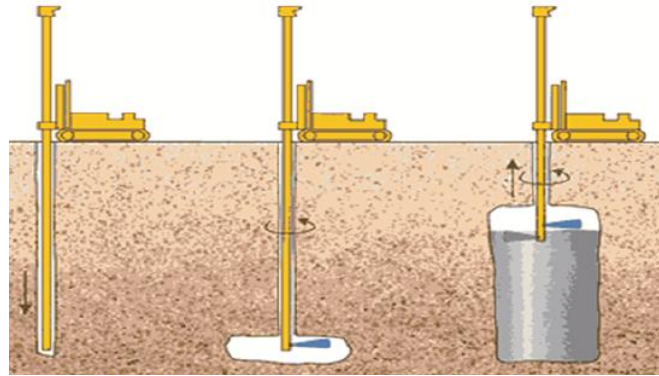
Injektioinnilla tarkoitetaan menetelmää, jossa maan huokostilavuus täytetään injektointiaineella, joita ovat esimerkiksi sementti, bentoniittisavi, vesilasi ja erilaiset kemialioyhdisteet. Injektointi tapahtuu maahan upotettavien injektointiputkien kautta, jotka painetaan, tärytetään tai huuhdellaan injektoitavaan maaperään. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 201-202.)

Maainjektointia käytetään myös perustusten vahvistamisen yhteydessä tehtävien kaivantojen tukemiseen. Maainjektioinnilla estetään kaivannon seinämän maamassojen valuminen kaivantoon työnaikana. (Rakennustieto Oy 2010.)

Syvästabiloinnissa, yleensä kalkki-sideaineella, stabiloitu maa muodostaa pystysuuntaisen, ympäröivää maata lujemman, pilarimaisen vyöhykkeen. Syvästabiloinnissa alaspäin painettaessa kairan siiveke rikkoo ensin maan luonnontilaisen rakenteen ja ylösnostaessa kairavarren läpi puhalletaan kalkkia häirittyyn maahan, jonka sekoitus-siiveke sekoittaa pilarimaiseksi. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 205-206.)

Maapohjan vahvistaminen ei korjaustoimenpiteeksi useinkaan riitä, vaan se vain pysäyttää painumisen. Pohjanvahvistuksen jälkeen rakennus voidaan nostaa esimerkiksi uretaani-injektointi menetelmällä.

Suihkupaalutus, eli suihkuinjektointi (Jet Grouting), menetelmässä voimakkaalla vesi-sementtisuspensiosuihkulla huuhdotaan maaperää, mikä saa aikaan tasaisen maanaineksen ja suspension sekoituksen. Suihkupaalutusta voidaan käyttää perustusten vahvistamiseen silloin, kun normaalin paalutuskaluston käyttö olisi mahdotonta tilanpuutteen takia tai normaalin paalutuskaluston aiheuttamien värinän ja kuormien takia. Suihkuinjektointia käytetään perustusten syventämisen, leventämisen ja painumien rajoituksen lisäksi muun muassa kaivantojen tiivistykseen, pystysuoriin seiniin ja pohjatiivistykseen. Suihkuinjektoinnissa muodostuvan paalun halkaisijaa säädetään suihkupaineella ja suuttimen nosto- ja pyörimisnopeudella. Suihkupaalun halkaisija on tavallisesti 600-2000 mm. (Karvonen 2013.)



Kuva 16. Periaatekuva suihkustabiloinnista. (Karvonen 2013)

#### 4.3.3 Perustusten syventäminen

Jos perustuksille on saatava aikaisempaa kantavampi perustus pohja, voi perustusten ulottaminen syvemmälle tulla kysymykseen. Perustusten syventäminen tehdään vaiheittain kaivamalla hyvin tuettuja kaivantoja perustusten alle riittävän etäälle toisistaan, jonka jälkeen kaivantoihin valetaan uudet anturat. (Rantamäki & Tamminen 1979, 214.)

Perustusten syventäminen voidaan tehdä koko perustusten matkalle tai vain osittain tasaisin välein. Osittain tekemällä on kuitenkin varmistettava syvennyksien väliin jäävän osuuden tukeutuminen uusiin anturoihin. (Museoviraston korjauskortisto 2003.)

Perustusten ulottamista syvemmälle kutsutaan lamelloinniksi. Lamellointi voidaan tehdä joko kertalamellointina tai useammassa kerroksessa, jos halutaan perustukset ulottaa niin syväälle, ettei anturaa voida valaa kerralla. Ennen lamellointia perustukset usein mantteloidaan, eli perustuksen ympärille rakennetaan teräsbetonista uusi kuori,

jotta se kykynee vastaanottamaan lisääntyneet kuormat. Manttelointi voidaan tehdä lamelloinnin lisäksi myös silloin, kun halutaan perustuksen kuormat jakaa laajemmalle alalle esimerkiksi käyttötarkoituksen muutoksen tai lisärakentamisen yhteydessä. (Rakennustieto Oy 2010.)

#### 4.3.4 Perustusten vahvistaminen paaluilla

Paaluilla tehtävässä perustusten vahvistuksessa käytetään paljon teräsrakenteisia pienpaaluja. Etenkin pienet porattavat ja lyötävät paalut ovat pienen työskentelytilantarpeensa vuoksi hyviä perustusten vahvistamiseen. Useimpien paaluvahvistuksien tekeminen onnistuu sisätiloissa ja matalissakin kellaritiloissa. (Jääskeläinen 2009, 226-227.) Porattavien ja lyötävien paalujen lisäksi perustusten vahvistamiseen käytetään puristettavia pätkäpaaluja. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 216-217).

Teräsrakenteiset porattavat ja lyötävät putkipaalut syrjäyttävät kantavuuteensa nähden vähän maata, jolloin korjaustöiden aikaiset vaikutukset jo vaurioituneelle rakennukselle jäävät vähäisiksi. Teräsputkipaalujen jatkaminen on helppoa, joten ahtaissa ja matalissa tiloissa voidaan paaluttaa pitkiäkin matkoja pienissä osissa. (Rautaruukki Oyj 2011.)

Pienen paalutuskaluston ansioista paalut voidaan asentaa symmetrisesti perusmuurin molemmille puolille. Paalutuksen ja tunkkauksen jälkeen perusmuurille tulevat kuormat voidaan siirtää paaluille esimerkiksi perusmuurin ali tai läpi asetetuilla teräspalkeilla. Uudenlaisen kannatuksen kestämiseksi perusmuuria voidaan joutua vahvistamaan. Paaluvahvistuksiin liittyy usein paljon tapauskohtaisia ratkaisuja, jotka edellyttävät huolellista harkintaa. (Jääskeläinen 2009, 227.)

Puristettavilla pätkäpaaluilla perustusten vahvistusta tehtäessä 0,5 - 1 metrin mittainen paaluelementti asetetaan vanhojen perustusten alle tai viereen ja paaluelementit puristetaan hydraulisella puristimella maahan. Ennen paalujen puristamista maahan voidaan joutua tekemään puristuspainetta tasaava laatta vanhojen, etenkin kivilatomois, perustusten rikkoutumisen estämiseksi. (Rantamäki & Tammirinne 1979, 216.)

Paalutuksen yhteydessä suunniteltavaksi tulevat kuormansiirtorakenteet ovat aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Kuormien siirrossa paaluille on otettava vahvistustavan lisäksi huomioon kuorman suuruus, suunta sekä vanhat perustus- ja yläpuoliset

rakenteet. Jos perustusten vahvistaminen tehdään porapaaluttamalla suoraan vanhan perustuksen alle, ei kuormansiirtorakenteita välttämättä tarvita.

Löytävien, porattavien ja puristettavien paalujen lisäksi perustuksia voidaan vahvistaa lisäksi juuripaaluilla tai paikallavalettavilla paaluilla, kuten kaivinpaaluilla. Kuormien siirron yhteydessä voidaan samalla vahvistaa vanhaa perusmuuria esimerkiksi injektoimalla, ruiskubetonoimalla tai betonimantteloinnilla. (Rakennustieto Oy 2010.)

#### 4.3.5 Muita menetelmiä

Perinteisen tunkkauksen lisäksi painuneita perustuksia ja lattioita voidaan nostaa erilaisilla uretaaninostomenetelmillä ja expander-body –paaluilla, jollainen on esimerkiksi PowerPile Oy:n kehittämä polymeeripaalu. Tunkkaukset ja uretaaninostomenetelmät vaativat usein ennen nostoa tehtäväksi maapohjan vahvistamisen esimerkiksi injektoimalla, jotta voidaan varmistua, että nostettu talo ei ala painua uudestaan.

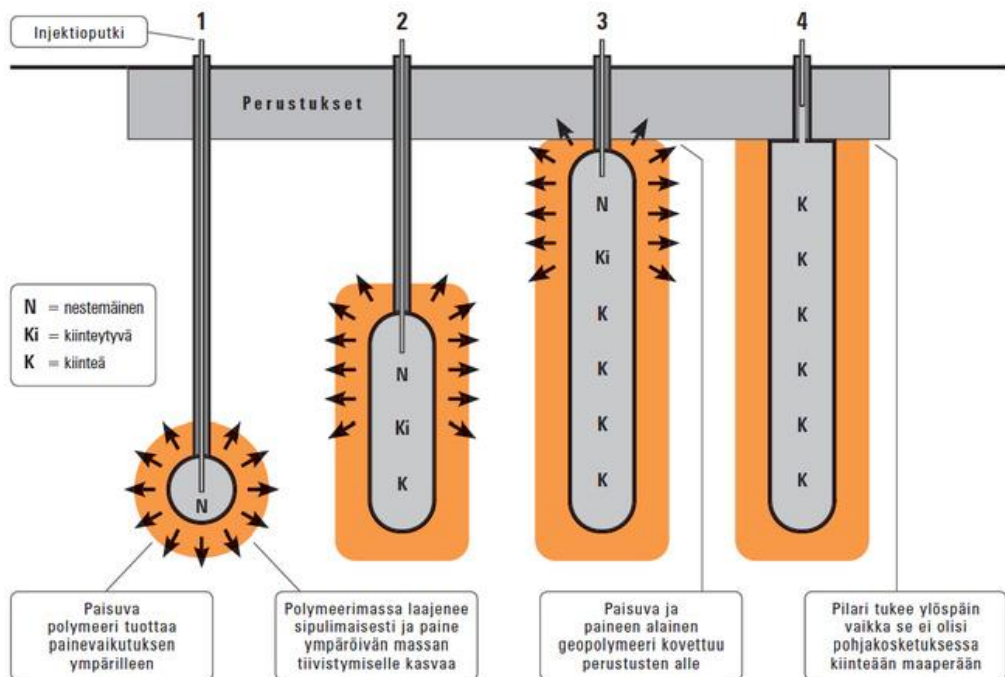
Uretaanilla tehtävissä perustusten tai painuneiden lattioiden nostossa rakennuksen perustukset kaivetaan esiin ja perustusten alle tehdään sen verran tilaa, että vanerilevyjen päälle asetettavat nostopatjat mahtuvat anturan alle. Nostopatjojen tukipinta on niin laaja, että rakennuksen nosto onnistuu heikostikin kantavilla maapohjilla. Rakennuksen eripuolille asennettuihin nostopatjoihin muodostetaan riittävän suuri paine ja rakennus nousee tasaisesti ja hallitusti. Rakennuksen suoristuttua rakennuksen alle muodostuva tyhjä tila täytetään polyuretaanilla. Polyuretaani on kevyt ja painumaton materiaali ja sitä käytettäessä maapohjaan kohdistuva kuormitus ei olennaisesti muutu. (Suomen Uretaaniasennus Oy 2013.)

PowerPile Oy on valmistanut polymeeripilareita vuodesta 2006 alkaen. PowerPilen menetelmillä painuneiden rakennusten ja lattioiden nosto onnistuu nopeasti ja ilman maankaivutöitä. PowerPilen menetelmillä voidaan nostaa rakennuksia ja lattioita myös löyhillä savi- ja silttimailla koheesiopilarimenetelmän ansiosta. (Powerpile 2012.) Polymeeripilareiden pääkäyttöluokat ovatkin juuri luonnollisesti painuvat savi- ja silttimaat, sekä arvaamattomasti painuvat täyttömaat. Polymeeripilarit soveltuvat myös hyvillä maaperillä, kuten soralla, hiekalla tai moreenilla, ilmenneisiin painumisongelmiin. (PowerPile Oy 2011.)



Kuva 17. Polymeeripilarin pieni asennuskalusto ja asennusjälki (PowerPile Oy 2012)

Ennen PowerPilen polymeeripilareiden käyttöä tulee tehdä laajat pohjatutkimukset ja selvittää talon painumisen syyt, jotta voidaan varmistua toimenpiteiden oikeellisudesta. (PowerPile Oy 2013).



Kuva 18. PowerPile menetelmän toimintaperiaate.(PowerPile Oy 2013)



## 5 ESIMERKKIKOHDE ASUNTO OY VIRVAKOTO

### 5.1 Yleistä

Esimerkkikohteena oleva Asunto Oy Virvakoto sijaitsee Kouvolan Voikkaalla ja on kolme asuinrakennuksinen rivitalo-osakeyhtiö, joka on rakennettu vuosina 1985-1986. Kolmen asuinrakennuksen lisäksi tontilla sijaitsee yksi ulkorakennus. Osa huoneistoista on Kuusankosken Seudun Vanhainhuoltoyhdistys ry:n omistamia vuokra-asuntoja. Tontti, joille kiinteistöt on rakennettu, on vuokrattu osaksi etukäteen täytettynä Kuusankosken kaupungilta. Rakennus on maanvaraisesti perustettu yhtenäisen anturan ja harkkomuurauksen päälle, alapohjarakenteena on maanvarainen betonilaatta.



Kuva 19. Maastokartta Asunto Oy Virvakodosta. Talo 1 pystysuuntaisesti vasemmalla, talo 2 vaakasuuntaisesti ylhäällä, talo 3 pystysuuntaisesti oikealla ja ulkorakennus alhaalla. (Kouvola 2013, Kouvolan karttapalvelu)

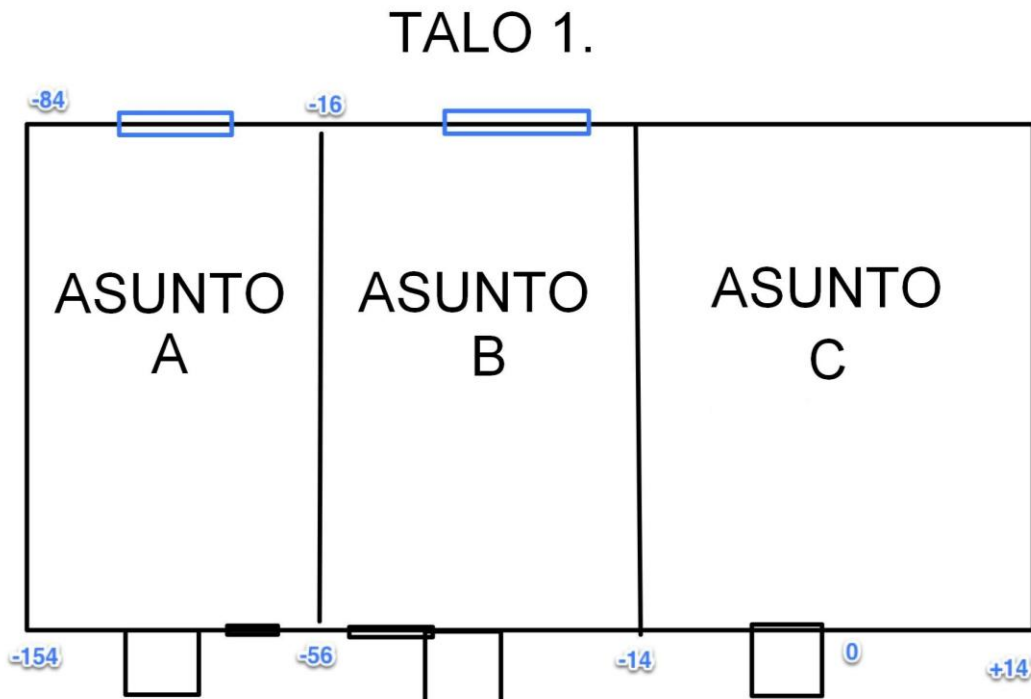
### 5.2 Ilmenneitä ongelmia

Käytössäni olleista kokous- ja tarkastuspöytäkirjoista selviää, että rakennuksen sokkeleissa on huomattu halkeamia jo vastaanottotarkastuksen yhteydessä 13.3.1986. Urakoitsijan toimitusjohtaja on kuitenkin ilmoittanut, että mistään vakavasta ei ole kysymys, vaan halkeamat ovat harkkorakenteiden saumoihin syntyviä tyypillisiä hiushal-

keamia. Hallituksen kokouksessa 8.3.1989 on todettu muina asioina penkereen sortumisen eteläisellä tonttirajalla jäteastioiden takana kahdesti edeltävänä kesänä. Hallituksen kokouksessa 6.5.1996 on pöytäkirjojen mukaan havaittu halkeamia tiiliseinässä asunnoissa A ja B. Tiiliseinien halkeamat on päätetty korjata silikonilla ennen talvea.

Hallituksen kokouksessa 21.6.2000 on päätetty tehdä rappauspaikkaukset talossa 1 ilmenneisiin sokkelin halkeamiin. Talon 1 tiiliseinässä olevat halkeamat on jälleen päätetty paikata silikonilla tiivistäen. Asunnon A painunut nurkka on päätetty nostaa uretaanilla. Seuraavassa hallituksen kokouksessa 26.2.2001 on todettu, että edellisessä hallituksen kokouksessa suunniteltu talon 1 sokkelien kunnostus olisi tullut huomattavasti arvioitua kalliimmaksi, joten työtä ei teetetty. Kokouksessa päätettiin, että seurataan vuoden painuuko talo lisää ja jatkopäätökset tehdään sen mukaan.

Vuonna 2002, kesäkuussa, pidetyssä hallituksen kokouksessa päätettiin, että paikataan asunnon A seinässä olevat tiiliverhouksen saumat ja ikkunan yläpuolella olevan lautaverhouksen ja tiiliverhouksen välinen rako. Vuoden 2005 hallituksen kokouksessa on vapaassa keskustelussa otettu puheeksi hinausauton aiheuttamat painaumet pihamaalla ja vuoden 2007 hallituksen kokouksen vapaassa keskustelussa on nostettu jälleen esiin sokkelien halkeamia.



Kuva 20. Painumamittauksen tulokset 24.8.2012

Painumien suuruutta talosta 1 on viimeksi mitattu 24. elokuuta 2012. Painumat olivat erittäin suuria varsinkin talon 1 asunnon A päädyssä. Asunnon A sisäpuolella tehdyissä vaaituksissa lattian korkeusero on pahimmillaan n. 120 mm. Asunnon B lattioissa ei vielä ole painumia ilmennyt, vaikka painumat ulkopuolelta mitattuna ovatkin suuria.

Syitä suurien painumien syntymiselle on helppo löytää jo vanhoja katselmuspöytäkirjoja tutkimalla. Kuusankosken kaupungin rakennuslautakunnan katselmuspöytäkirjoista selviää, että rakennustyöt on aloitettu 15.8.1985. Asuinrakennusten seuraavat rakennustyönaikaiset katselmukset ovat olleet 26. ja 28. lokakuuta 1985 pidetyt rakennekatselmukset. Ennen rakennekatselmusta on jäänyt siis suorittamatta niin pohjakatselmus kuin perustamiskatselmuskin. Katselmuspöytäkirjat ovat joiltain osin puutteellisia. Esimerkiksi ulkorakennuksen rakennustöiden aloituspäivää ei ole pöytäkirjaan merkitty, mutta pohjakatselmus on suoritettu elokuussa 1985. Rakennepiirustuksiin on kirjattu, että rakennus perustetaan luonnollisen perusmaan tai koneellisesti tiivistetyn soratäytön varaan. Perusmaan geotekniseksi kantavuudeksi pohjarakennesuunnittelija on piirustuksiin kirjannut  $100 \text{ kN/m}^2$ .



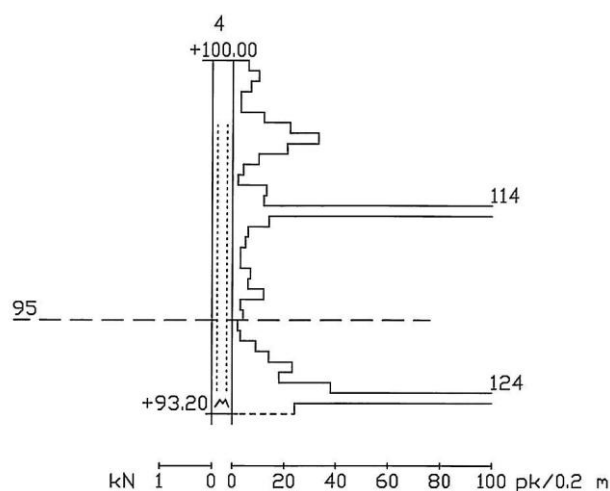
Kuva 21. Otteet Seivästiestä maastokartasta (Kouvola 2013, Kouvolan karttapaalvelu), sekä Kuusankosken maaperäkartasta. (Kuusankosken kaupunki 2006, Kuusankosken yleiskaava 2020)

Työmaan vastaavan mestarin mukaan rakennuspaikka oli osin täytetty ja puuston puutteellisuus vahvistaisi käsitystä täytöstä. Rakennuspaikalla olevat täytöt olivat todennäköisesti tehty suunnittelemattomasti ”kippitäyttönä” täyttökerroksia tiivistämättä eikä rakennusvalvonta ollut vaatinut tiivistystä erikoistoimenpitein, esimerkiksi syvätiivistyksenä. Vastaavan mestarin mukaan rakennusalueella oli rakentamiseen ryhdyttäessä aluskasvillisuutta ja pienikokoista mäntykasvustoa ja alue oli tiivistetty normaali-

lia täryjyriä käyttäen ennen perustustöiden aloittamista. Alue on muuten hyvää, rakentamiselle soveltuvaa, sora- ja hiekkaharjua, eikä Kuusankosken kaupunki edellyttänyt pohjatutkimusten tekemistä ennen töiden aloittamista. Talon 1 eteläisen päädyn täytöt on suunnitteluvaiheessa otettu huomioon porrastamalla harkkorakenteista perustusta 400 mm syvemmälle kuin pohjoispäädyn perustusta.

Kuusankosken kaupungin vuonna 2006 julkaiseman Yleiskaava 2020 liitteen 1 maaperäkartasta (Kuva 21.) huomataan heti, että alueella on runsaitakin täyttöjä, ja täyttöalueen reuna ulottuisi juuri talon 1 etelä päädyn alle, missä suurimmat painumat ilmevät. Maaperäkartta on laadittu alueen rakentamisen jälkeen ja on toki vain suuntaa antava, eikä riitä yksityiskohtaiseen arviointiin.

Painumamittausten jälkeen alueelta on teetetty painokairatutkimuksia painuneen talon ympärillä. Ramboll Finland Oy on tehnyt pohjatutkimuksia painokairaamalla kuudesta tutkimuspisteestä talon 1 eteläpäädyn läheisyydestä. Ramboll Finland Oy:n raportissa selviää, että maapohja on tiiviydeltään löyhää hiekkakerrostumaa, jonka kerrospaksuus vaihtelee tutkimuspisteiden välillä. Talon 1 kaakkoiskulman painokairaus on päätetty tiiviiseen maakerrokseen, mikä löytyi n. 3,5 metrin syvyydestä, kun taas lounaiskulman painokairaus on päätetty määräsyvyyteen 6,8 metriin löytämättä tiivistä maakerrosta. (Ramboll Finland Oy 2011, As Oy Virvakoto: Painumatutkimus ja korjaussuositus.)



Kuva 22. Talon 1. lounaiskulman painokairaus diagrammi. (Ramboll Finland Oy 2011, As Oy Virvakoto: Painumatutkimus ja korjaussuositus)

Tutkimuspisteistä Ramboll Finland Oy otti myös maanäytteitä maalajien tarkempaa määrittystä varten. Näytteet olivat pääosin hiekkaa, mutta vielä 3 - 4 metrin syvyydeltä löytyi humuspitoista maata. Näyte sijoittuu juuri pengerryksen ja perusmaan rajapintaan. Näytteen humuspitoisuus oli niin pieni, että se ei vaikuta talon painumiseen, mutta se vahvisti käsitystä, että humuspitoisen maakerroksen päällä oleva löyhä hiekkakerros on todennäköisesti täyttömaata. Ramboll Finland Oy on myös raportissaan todennut painumien johtuvan riittämättömästä täyttömaan tiivistyksestä. (Ramboll Finland Oy 2011, As Oy Virvakoto: Painumatutkimus ja korjaussuositus.)

Talon 1 eteläpään painumat ovat jo niin suuria, että ulkopuolelta tarkasteltuna rakenteissa näkyy selviä vaurioita painumista johtuen. Esimerkiksi sokkeleissa eteläpään alueella esiintyy tasaisin välein halkeamia (Kuva 23.), joista muutamat ovat erittäin suuria. Myös päädyn tiilimuuraus on murtunut yläosistaan ja sivusiirtymät ovat suuria. Tiilimuurauksen murtuminen ja rakoilu altistaa rakenteita säärasituksille ja murtuessaan voi olla jopa turvallisuusriski. (Kuva 23.)



Kuva 23. Virvakodon sokkelin halkeama ja eteläpään murtunut tiilimuuraus. (Vuorinen 2013)

### 5.3 Korjausvaihtoehdot

Kun rakennuksen painumien on annettu edetä näin pitkälle, on selvää, että korjaustyöt ja niistä aiheutuvat kustannukset ovat suuret. Tilanteen korjaamiseen olisi sovelletta-

vissa useita vaihtoehtoja, mutta tässä esimerkkitilanteessa etenkin taloudellinen puoli ratkaisee paljon. Painuneet asunnot ovat Kuusankosken Seudun Vanhainhuoltoyhdistys Ry:n omistamia vuokra-asuntoja ja niiden vuokratuotot ovat vähäisiä. Korjauskustannuksista vastaa asunto-osakeyhtiö tai kaupunki, tontin vuokraajana. Osakeyhtiölain perusteella mahdollisesti osa korjauskustannuksista lankeaa myös asunto-osakeyhtiön yksityisille osakkeenomistajille. Kiinteistön arvoon nähden ei ole kannattavaa tehdä liian suuria investointeja painumien korjaamiseen, koska niitä ei tulla enää tämän rakennuksen elinkaaren aikana saamaan takaisin.

Ramboll Finland Oy on tehnyt kesäkuussa 2012 ehdotuksen talon 1 eteläpäädyn painumien korjaamiseksi. Korjausehdotuksessa kaivettaisiin perustukset esiin anturan yläpinnan tasoon asti, jonka jälkeen löyhien hiekkakerrosten kokoonpuristuminen estetäisiin perustuslinjojen kohdalta sementti-injektoinnilla. Sisäpuolisina töinä purettaisiin maanvaraiset betonilattiat, alapohjaeristeet ja kevyet väliseinät. Edellä mainittujen töiden jälkeen painuneet perustukset tunkattaisiin uretaani-injektoinnilla haluttuun korkeusasemaan. Kun perustukset ovat tunkattu, viemärit asennettaisiin oikeaan korkeuteen, rakennettaisiin uudet maanvaraiset alapohjat ja kevyet väliseinät, sekä sokkelin vierustäytöt ja salaojat. Maarakennustöiden kustannuksiksi Ramboll Finland Oy on arvioinut n. 25000 €. (Ramboll Finland Oy 2012, As Oy Virvakoto: Rakennuksen päätyhuoneiston painumien korjaus). Maarakennustöiden lisäksi tehtävistä rakennusteknisistä ja LVIS-töistä aiheutuvat kustannukset nostaisivat korjaustöiden hinnaksi n. 100000 €. Todellisia aiheutuvia kustannuksia on mahdotonta määrittää ja osa tehtävistä töistä selviää vasta purku- ja nostotöiden aikana. (Insinööritoimisto R. Kajander Oy 2012, Virvakoto: Talon 1 painuman korjaaminen.)

Muina vaihtoehtoina kannattaa harkita esimerkiksi osittain rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta. Jos talon 1 huoneistot A ja B poistettaisiin asumiskäytöstä ja korjaukset tehtäisiin esimerkiksi Ramboll Finland Oy:n ehdotuksen mukaisesti, ei toimimattomista viemäreistä olisi haittaa ja asuntoja voitaisiin käyttää esimerkiksi vuokravarastoina. Toisena vaihtoehtona olisi painuneen osan purkaminen ja uuden ulkoseinän rakentaminen asunnon C päätyyn. Näissä töissä menetettäisiin kaksi huoneistoa, mutta korjauskustannukset jäisivät pieniksi, arviolta alle 40000 €:oon. (Insinööritoimisto R. Kajander Oy 2012, Virvakoto: Talon 1 painuman korjaaminen.)

Esimerkkikohteen korjaamisesta on keskusteltu myös PowerPile Oy:n kanssa. Powerpile Oy:llä olisi tarjota kohteeseen kaksi erilaista vaihtoehtoa: PowerPile–nostopilarointimenetelmä ja PowerPile–tiivistyspilarointia ja tunkkausta. Nostopilarointimenetelmällä rakennus stabiloitaisiin painuneelta osin kantavaan pohjaan ja nostettaisiin mahdollisuuksien mukaisesti. Menetelmä ei edellyttäisi rakennuksen ulkopuolisia maankaivutöitä, rakennuksen sisäpuolella nostopilarit asennetaan lattian läpi. Nostoalueella sijaitsevat kiintokalusteet tulisivat toki purkaa. Rakennus jäisi töiden jälkeen nostopilarien varaan ja löyhän maaperän tiivistäminen ei olisi välttämätöntä. Noston jälkeen perustusten alainen maaperä tiivistettäisiin injektoimalla ja lattiat nostettaisiin geopolymeerillä. Näiden töiden kustannuksiksi PowerPile Oy on arvioinut n. 60000 €. Nämä toimenpiteet eivät ole kuitenkaan huomioineet näin suuressa nostossa mahdollisesti tapahtuvaa viemäriiliitosten irtoamista ja siitä aiheutuvia korjauskustannuksia.

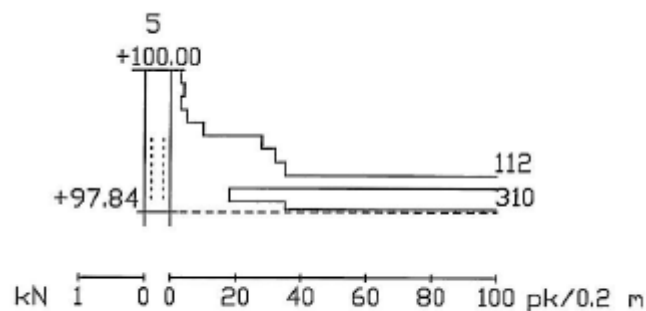
Tiivistyspilarointi ja tunkkaus –menetelmä tehdään pääasiassa rakennuksen ulkopuolelta perustukset esiin kaivamalla. Tässä menetelmässä säästytään edelliseen verrattuna sisäpuolisilta kiintokalusteiden purkamiselta. Tässä menetelmässä rakennus nostettaisiin hydraulisesti anturan alta tunkkaamalla ja anturan alle syntyvä tyhjä tila injektoitaisiin geopolymeerillä. Löyhä maaperä tiivistetään tiivistyspilareilla tai muulla vastaavalla menetelmällä aina tiiviiseen maaperäkerrokseen asti. Tässäkin menetelmässä lattiat nostettaisiin lopuksi polymeeri-injektoinnilla. Tiivistyspilarointi ja tunkkaus –menetelmän kustannuksiksi PowerPile Oy on arvioinut n. 50000 €. Tässä vaihtoehdossa voi kuitenkin yhtäläillä ilmetä samoja ongelmia kuin edellisessä vaihtoehdossa, mistä johtuen todelliset kustannukset voivat nousta reilustikin.

Useimmat painumien korjausvaihtoehdot ovat esimerkkikohteessa teoreettisesti mahdollisia. Kaikki eivät kuitenkaan ole taloudellisesti niin kannattavia. Kaikkien painumakorjaustöiden lisäksi tehtäväksi tulevilta rakennusteknisiltä töiltä ja LVIS-töiltä ei voi välttyä, kun on kyse näin suurien painumien korjaamisesta. Tämän vuoksi tähän kohteeseen ei paaluvahvistusvaihtoehtoja katsota erityisen soveltuvaksi. Paaluilla tehtävien perustusten vahvistaminen velvoittaisi vahvistamaan myös anturoita ja perusmuuria, jotka todennäköisesti ovat erittäin heikossa kunnossa painumien suuruudesta päätellen. Ramboll Finland Oy:n ja PowerPile Oy:n menetelmien lisäksi korjaustöimenpiteeksi sopisi maapohjan vahvistaminen, suihkupaaluttamalla tai injektoimalla, kuten Rambollin menetelmässä. Kun maapohjan vahvistamisen jälkeen saadaan var-

muus siitä, että rakennus ei enää painu, voidaan perustukset ja lattiat nostaa rakenteiden sallimissa rajoissa esimerkiksi uretaani-injektointi menetelmällä. Jos rakennusta ja lattioita nostetaan niin paljon, että viemäriiitokset rikkoutuvat, rakennuksen asumiskuntoon saattaminen velvoittaa alapohjan ja kevyiden väliseinien purkamista, viemärien korjaamista ja alapohjan ja väliseinien uudelleen rakentamista, jonka vaikutuksista kustannuksiin on mainittu aiemmin.

#### 5.4 Suositeltavat toimenpiteet

Suosittelvat toimenpiteet riippuvat täysin Asunto Oy Virvakodon päätöksistä asuntojen korjaamisesta asumiskelpoisiksi ja siitä, kuinka paljon asunto-osakeyhtiö on valmis investoimaan. Jos halutaan päästä mahdollisimman edullisesti ja muutaman asunnon menettäminen ei ole ratkaisevaa, toimenpiteissä katset siirtyisivät talon 1 osittaiseen purkamiseen. Jos päädytään osittaiseen purkamiseen, Vanhainhuoltoyhdistys tulisi todennäköisesti hakemaan korvauksia omaisuutensa menettämisestä asunto-osakeyhtiöltä. Ramboll Finland Oy:n pohjatutkimuksissa voidaan havaita selvästi, että täyttöalueen ongelmat kohdistuvat selvästi vain talon 1 eteläiseen päätyyn. Jo neljän metrin etäisyydellä eteläisestä päätyseinästä painokairausdiagrammit osoittavat, että tiivis kerros löytyy suhteellisen läheltä maanpintaa, ja voitaisiin olettaa, että tiivistymiä ei enää tapahtuisi, mikäli A ja B asunnot purettaisiin ja C asunnon päätyyn rakennettaisiin uusi päätyseinä.



Kuva 24. Painokairausdiagrammi neljä metriä talon 1 eteläpäädyestä. (Ramboll Finland Oy 2011, As Oy Virvakoto: Painumatutkimus ja korjaussuositus)

Jos asunnot halutaan säästää, vaatisi se suuria investointeja korjaustöihin. Painumat ovat niin suuria, että painumakorjaukset ajavat väkisin laajoihin korjaustöihin, lähinnä rakennuksen sisäpuolella. Näin suurta nostoa tehtäessä lattioiden noston yhteydessä viemärien nouseminen mukana rikkoutumatta on todella epätodennäköistä.



Viemärien toimimattomuuden johdosta alapohjia joudutaan purkamaan, mikäli rakennus halutaan saattaa asuttavaan kuntoon. Jos asuntoja painumakorjausten jälkeen käytettäisiin esimerkiksi varastotiloina, voitaisiin viemärit jättää korjaamatta ja kustannukset jäisivät vähäisiksi, n. 50000 euroon. Mikäli asunnot korjattaisiin noston jälkeen asuttavaan kuntoon, kustannukset nousisivat todennäköisesti yli 100000 euroon.

Vaikka rakennus onkin vasta alle 30 vuotta vanha, niin kiinteistön arvoon nähden suuret investoinnit eivät ole kannattavia. Yhtenä vaihtoehtona olisikin koko talon 1 purkaminen ja uuden rakentaminen kunnollisten pohjatutkimusten ja pohjarakennustöiden jälkeen.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Pientalojen painumavaurioiden yleisimpiä aiheuttajia ovat heikosti kantava maaperä, huonosti tehdyt tiivistystyöt, maa-aineksen vesipitoisuuden muutokset ja konsolidatiopainumat. Se, että nämä syyt johtavat rakennuksen tai sen osien painumiin voi olla seurausta puutteellisista pohjatutkimuksista, väärin valitusta perustamistavasta, suunnitteluvirheistä, työvirheistä tai edellä mainittujen yhteisvaikutuksista. Aikaisemmin pohjatutkimusten merkitystä ei juurikaan korostettu ja sen vuoksi on monissa tapauksissa rakennettu erittäin kevyin maaperätietojen perusteella. Maaperän koostumus koko rakentamisalueella on jäänyt epäselväksi, ja onkin ollut mahdollista, että löyhien maakerrosten esiintyminen esimerkiksi rakennuksen yhden nurkan alla on jäänyt huomaamatta. Rakentamisen kiristyneen valvonnan ansiosta rakentaminen ilman minikäänlaisia pohjatutkimuksia pitäisi nykyään olla mahdotonta. Toki myös perustusten suunnittelussa on tapahtunut ja tapahtuu virheitä jatkossakin, jotka voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa suuriakin ongelmia perustuksissa. Myös täyttöjen vajavaisista tiivistyksistä johtuvat painumat ovat yksi suurimpia korjaustöiden aiheuttajia.

Perustusten vahvistaminen on aina haastava toimenpide, ja se vaatii suurta ammattitaitoa ja kokemusta. Niin suunnittelijoiden kuin rakentajienkin tulisi olla tietoisia kaikista soveltuvista vahvistusmahdollisuuksista, materiaaleista ja työtavoista. Samalla tulisi tuntea myös hyvin aikaisempien vuosien rakennustekniikoita, jotta osattaisiin valita kohdekohtaisesti parhaat vahvistusmenetelmät.

Todennäköisesti rakennusten painuminen on paljon yleisempää kuin luullaan. Esimerkiksi pientalojen epätasaisista painumista eli perustuksien kulmakiertymistä ei mielel-

lään puhuta, sillä painumien paljastuessa kiinteistön arvo romahtaa välittömästi. Painumakorjaukset ovat taloudellisesti suuria investointeja ja vaikka painumat olisikin korjattu, korjaustyöt vaikuttavat talon arvoon alentavasti pitkälle tulevaisuuteen.

Perustusten vahvistaminen on haastava erikoisala myös sen vuoksi, että mikään kohde ei ole samanlainen. Kohteita on keskusta-alueiden vanhoista monumenttirakennuksista omakoti- ja kesämökkirakennuksiin. Perustusten vahvistamiseksi on haastavaa kehittää teknillisesti ja taloudellisesti järkeviä ratkaisuja. Vanhoja rakennuksia korjatessa monet asiat kytkeytyvät toisiinsa. Työn aikana usein paljastuu asioita, joita ei suunnitteluvaiheessa ole voitu huomata, ja sen takia kustannusarvioiden teko on epävarmaa. Perustusten vahvistamista edeltävät työvaiheet, kuten kaivut ja purkutyöt aiheuttavat suuria kustannuksia. Perustusten vahvistamisesta aiheutuvat kustannukset etenkin vanhojen pientalojen arvoon nähden voivat nousta kohtuuttomiksi, jolloin järkevimpänä vaihtoehtona voikin olla vanhan rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen. Näissä tapauksissa vanha sanonta, että rakennus kannattaa saneerata, jos sen perustukset ovat kunnossa, ei ole täysin perätön.

## LÄHTEET

Asunto Oy Virvakoto. Pöytäkirjoja vuosilta 1986-2007.

Foundation supportworks. 2013. What causes foundation settlement? Saatavissa: <http://www.foundationssupportworks.com/foundation-repair/foundation-settlement/what-causes-foundation-settlement.html> [Viitattu: 4.4.2013].

Jääskeläinen R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Karvonen, J. 2013. Pohjanvahvistus Luentomateriaali. [Viitattu 5.4.2013].

Kyyrönen K. 2007. Talonrakennus 1. 1. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Maankäyttö- ja rakennusasetus. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895#L1> [Viitattu 4.2.2013].

Museoviraston korjauskortisto 2003. Korjauskortti 24. Pientalon perustusten korjaus. Saatavissa: <http://www.nba.fi/fi/File/305/korjauskortti-24.pdf> [Viitattu: 22.3.2013].

PowerPile Oy 2013. Jos talosi tai joku muu rakennuksesi painuu... Saatavissa: <http://www.powerpile.fi/mika-on-powerpile/tietoa-rakennuksen-painumisesta/jos-talosi-tai-joku-muu-rakennus/> [Viitattu: 22.3.2013].

PowerPile Oy 2013. Tietoa rakennuksen painumisesta. Saatavissa: <http://www.powerpile.fi/mika-on-powerpile/tietoa-rakennuksen-painumisesta/> [Viitattu 22.3.2013].

PowerPile Oy 2011. Talo painuu. Saatavissa: <http://www.powerpile.fi/ajankohtaista/artikkelit/talo-painuu/> [Viitattu: 22.3.2013].

Rakennustieto Oy 2010, Ratu F1-0369 Perustusten vahvistaminen betonoimalla, injektioimalla ja pulttaamalla. [Viitattu 8.4.2013].

Rakennustieto Oy 2010, Ratu F1-0370 Perustusten vahvistaminen mantteloimalla ja perustusten syventäminen lamelloimalla. [Viitattu 8.4.2013].

Rakennustieto Oy 2010, Ratu F1-0372 Perustusten vahvistaminen juuripaaluilla ja paikallavalettavilla paaluilla. [Viitattu 8.4.2013].

Rakennustieto Oy. 1992. RT 81-10486 Pientalon perustamistavan valinta.

Rantamäki M. Jääskeläinen R. Tammirinne M. 1979. Geotekniikka 464. 22. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Rantamäki M. Tammirinne M. 1979. Pohjarakennus 465. 13. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Rautaruukki Oyj 2011. Pohjarakenteet. Saatavissa:

<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Pohjarakenteet.pdf> [Viitattu: 22.3.2013].

RIL 121-2004. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry Pohjarakennusohjeet. Yleisjäljennös – Painopörssi.

RIL 207-2009. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry Geotekninen suunnittelu. Hansaprint Oy.

Suomen rakentamismääräyskokoelma A1 Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, määräykset ja ohjeet. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/28238-A1su2006.pdf> [Viitattu 4.2.2013].

Suomen rakentamismääräyskokoelma A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/10970-a2.pdf> [Viitattu 4.2.2013].

Suomen Uretaanasennus Oy 2013. Talon nosto. Saatavissa:

[http://www.suomenuretaanasennus.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=5&Itemid=6](http://www.suomenuretaanasennus.com/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=6) [Viitattu: 22.3.2013].

Suortti- Suominen T. 1995. Pientalon perustusopas. 1. painos. Tampere: TammerPaino Oy.

REIM Kymi Oy  
Isännöitsijä Mirva Salo  
Keskusaukio 1  
45700 KUUSANKOSKI  
p. 020 743 8521  
e-mail: mirva.salo@reimgroup.com

## AS OY VIRVAKOTO: PAINUMATUTKIMUS JA KORJAUSSUOSITUS

Pyynnöstä olemme suorittaneet pohjatutkimuksia As Oy Virvakodossa Kouvolan Voikkaalla. Tutkimuksilla pyrittiin selvittämään syy yksikerroksisen rivitalon päätyasunnon painumiselle. Pohjatutkimukset käsittivät kuusi kappaletta painokairauksia, jotka sijoitettiin kiinteistön painuvan pään seinälinjojen välittömään läheisyyteen.

Painokairausten perusteella tutkimuspisteissä esiintyi maanpinnasta lukien tiiveydeltään löyhä hiekkakerrostuma. Kerrostuma ulottui maanpinnasta mitattuna 0,8...1,2 metrin syvyyteen. Löyhän kerrostuma alapuolella on 0,8...1,1 metrin paksuinen tiiviimpi hiekkakerrostuma. Tutkimuspisteissä 2...6 esiintyi tiiveydeltään löyhä hiekkakerrostuma, jonka paksuus vaihteli 0,2...0,5 metrin välillä. Tutkimuspisteessä 4 esiintyy tiiveydeltään löyhiä kerrostumia kairauksen päättymistasolle asti, 6,8 metrin syvyyteen maanpinnasta mitattuna.

Kairaukset päätettiin määräsyvyyteen tavoite kairausvastukseen.

Tutkimuspisteestä 3...5 otettiin maanäytteitä syvyydeltä 0,2...4,0 metriä, maa-lajien tarkempaa määrittelyä varten. Näytteet olivat pääosin hiekka (HK). tutkimuspisteessä 3, syvyydestä 3...4 metriä otetussa näytteessä oli hieman humusta. Näyte sijoittunee perusmaan ja pengerryksen rajapintaan. Maan humuspitoisuus oli pieni eikä vaikuta kiinteistön painumiseen, mutta osoittaa sen, että humuspitoisen maakerroksen päällä oleva löyhä hiekkakerros on todennäköisesti täyttömaata.

Pohjatutkimusten perusteella kiinteistön painumisen todennäköinen syy on se, että perustusten alla olevan täyttömaan tiivistys ei ole ollut riittävä rakennus-aikana, vaan tiivistymistä tapahtuu rakennuksen kuormituksesta edelleen.

Päivämäärä 26/04/2011

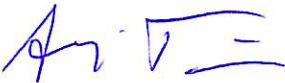
Ramboll  
Hallituskatu 7A  
45100 KOUVOLA

T 020 755 7280  
www.ramboll.fi

Korjaus ehdotus

Korjaustoimenpiteenä kyseiseen kohteeseen soveltuu parhaiten löyhien hiekkakerrosten lujittaminen sementti-injektoinnilla ja tämän jälkeen perustuksien ja lattioiden painumien korjaaminen (tunkkaaminen) esim. uretaani-injektointi menetelmällä.

Ramboll Finland Oy



**Ari Taina**

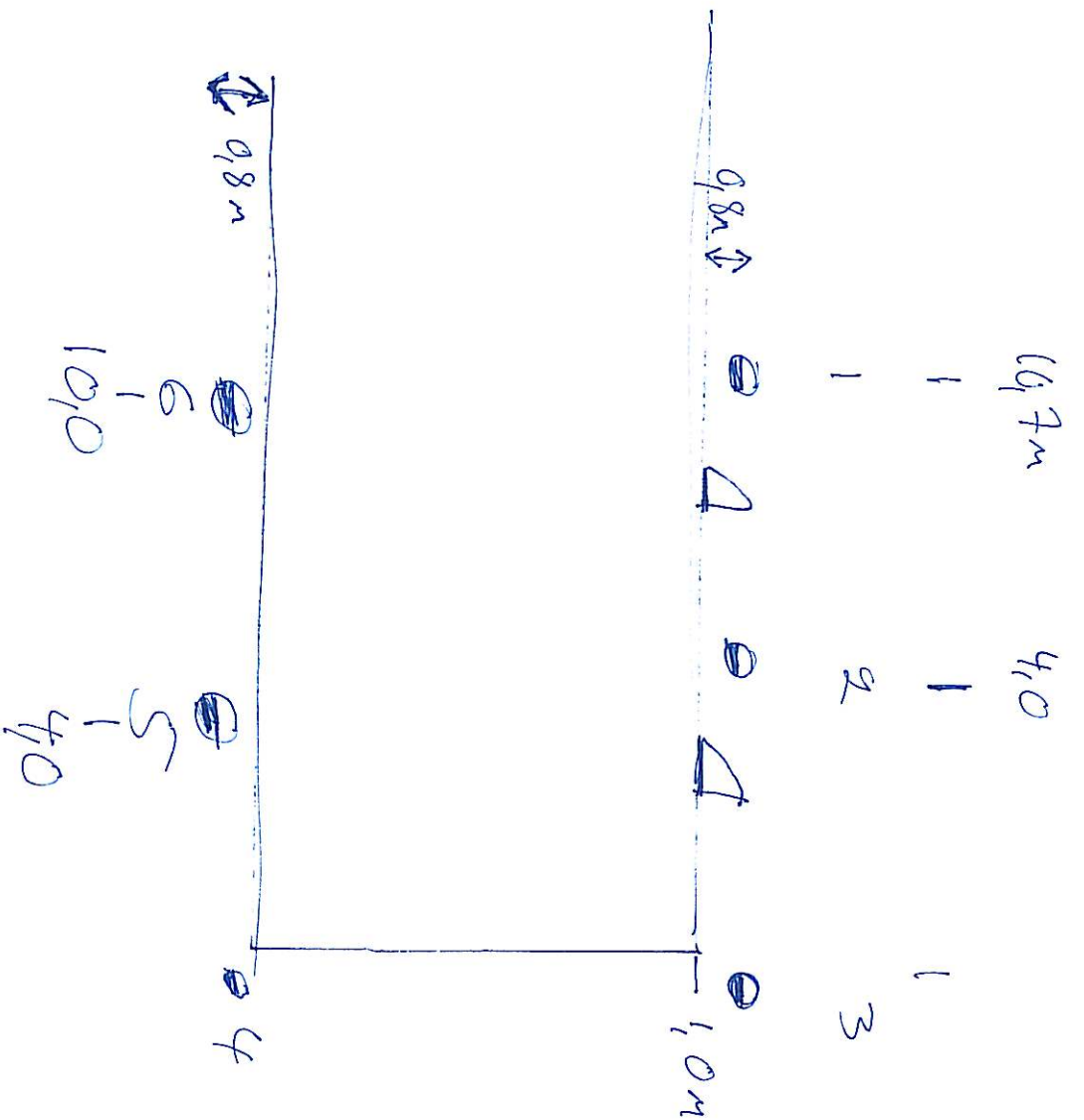
Ins. AMK  
Projektipäällikkö

Liitteet: Tutkimuspisteiden sijaintipiirros  
Kairausdiagrammit 1...6

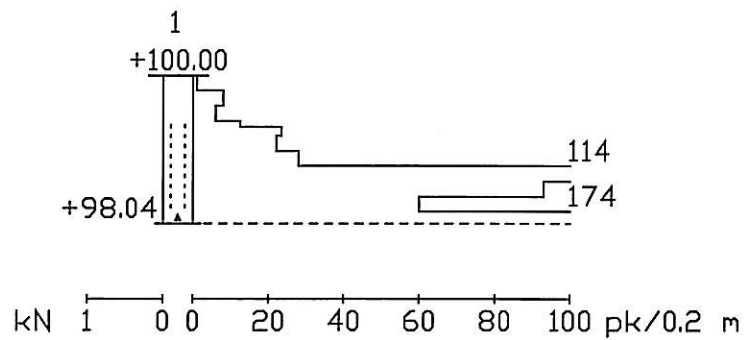
VIRVAKOTO

Tutkimusasteiden

Sisäintiläpiirros

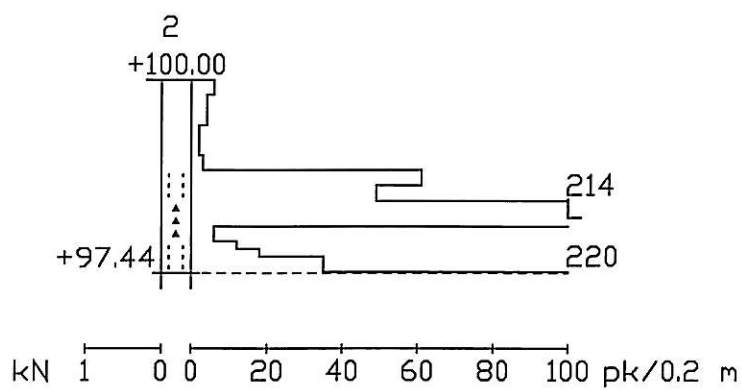


Työnumero	Työn nimi		Pisteen nro
136112	As Oy Vihavakoto		1
X	Y	Z	
1,000	1,000	100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrauspv.	Alkukalraus
		14.4.2011	
Kalraustapa	Päättymistapa		
Paino	Tilvis maakerros		
Kalraaja	Kalrauslaitte		

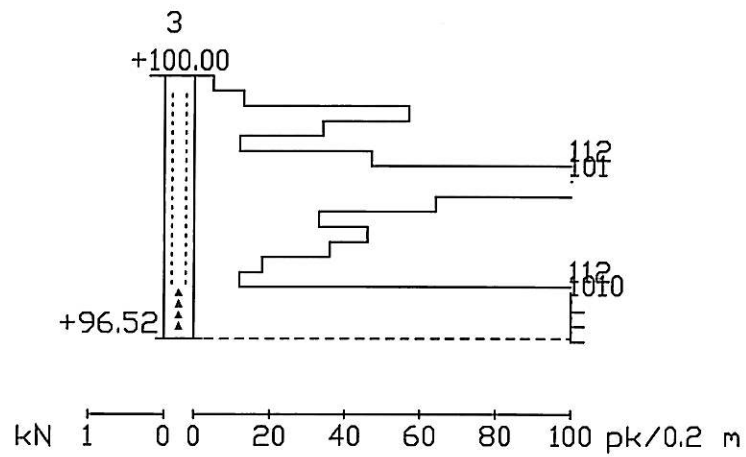




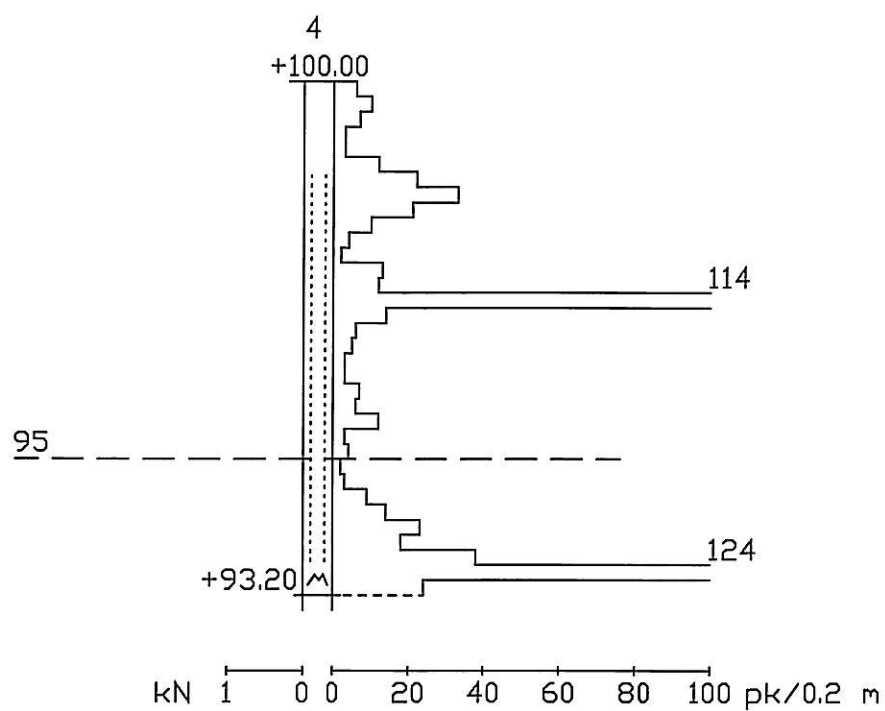
Työnumero	Työn nimi		Pisteen nro
136112	As.Oy Virvakoto		2
X	Y	Z	
2,000	2,000	100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrauspm.	Alkukalraus
		14.4.2011	
Kalraustapa	Päättymistapa		
Paino	Määräsyvyys		
Kalraaja	Kalraustalite		



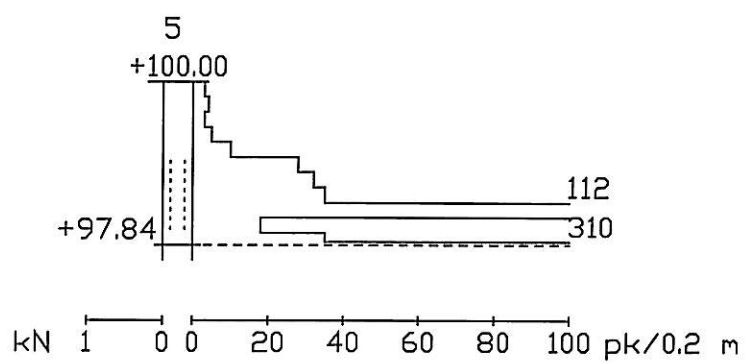
Työnumero 136112	Työn nimi As.Oy Vlrvakoto	Pisteen nro 3	
X 3,000	Y 3,000	Z 100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrauspv. 14.4.2011	Alkukalraus
Kalraustapa		Päättymistapa	
Paino Kalraaja		Tiivis maakerros Kalrauslaitte	



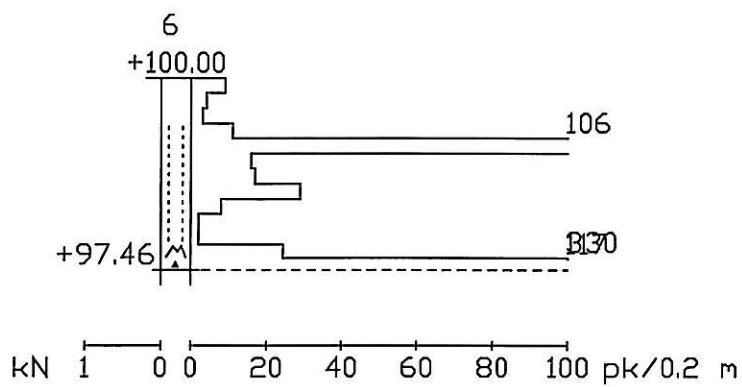
Työnumero 136112	Työn nimi As.Oy Virokoto	Pisteen nro 4	
X 4,000	Y 4,000	Z 100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrausvm. 14.4.2011	Alkukalraus
Kalraustapa	Päättymistapa		
Paino	Määräsyvyys		
Kalraaja	Kalrauslaitte		



Työnumero 136112	Työn nimi As.Oy Virvakoto	Pisteen nro 5	
x 5,000	y 5,000	z 100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrausvm. 14.4.2011	Alkukalraus
Kalraustapa Paino	Päättymistapa Määräsyvyys		
Kalraaja	Kalrauslaite		



Työnnumero	Työn nimi		Pisteen nro
136112	As.Oy Virvakoto		6
X	Y	Z	
6,000	6,000	100,000	
	Pohjaveden pinta	Kalrauspv.	Alkukalraus
		14.4.2011	
Kalraustapa	Päättymistapa		
Palno	Määräsyvyys		
Kalraaja	Kalrauslaite		



REIM Kymi Oy  
Isännöitsijä Mirva Salo  
Keskusaukio 1  
45700 KUUSANKOSKI  
p. 020 743 8521  
e-mail: mirva.salo@reimgroup.com

## AS OY VIRVAKOTO: RAKENNUKSEN PÄÄTYHUONEISTON PAINUMIEN KORJAUS

Päivämäärä 7/06/2012

Alla on esitetty korjaustoimenpiteen työvaiheiden pääkohdat.

- Korjattavan rakennusosan perustukset kaivetaan näkyviin anturan yläpinnan tasoon asti.
- Löyhien hiekkakerrostumien sementti-injektointi perustus linjojen kohdalta. Maaperän kokoonpuristuminen estetään.
- Lattiat puretaan painuneelta rakennusosalta. Kevyet väliseinät joudutaan purkamaan myös.
- Tunkataan uretaani-injektoinnilla painuneet perustukset haluttuun korkeusasmaan.
- Lattioiden alustäytöt tiivistetään runsaalla vedellä ja täryjyrällä. Tehdään tarvittavat lisätäytöt.
- Viemärit jatketaan / asennetaan oikeaan korkeusasmaansa.
- Alapohjan eristys uusitaan.
- Rakennetaan uudet lattiat ja puretut väliseinät.
- Rakennetaan sokkelin vierustäytöt ja salaojat toimenpidealueelle.

Ramboll  
Ilmarinkuja 3  
45100 KOUVOLA

T 020 755 7280  
www.ramboll.fi

**Kustannusarvio**

Maanrakennus osion arvioidut määrät ja kustannukset.

	Määrä	Yksikkö	€/yksikkö	Yhteensä	
Perustusten esiin kaivu	32	m <sup>3</sup>	15	480	€
Sementti-injektointi (10m <sup>3</sup> sem.)	1	erä	6300	6300	€
Uretaani-injektointi	2000	lit	5,3	10600	€
Alustäyttöjen tiivistys ja lisätäyttö	70	m <sup>2</sup>	14	980	€
Viemärien korotus	1	erä	200	200	€
Alapohjan eristys	79	m <sup>2</sup>	13	1027	€
Sokkelien vierustäytöt	32	m <sup>3</sup>	12,5	400	€
Salaojien kunnostus	29	m	13	377	€

**20364 €**

Näiden kustannusten lisäksi tulevat rakennusteknisten töiden kustannukset.

Ramboll Finland Oy

**Ari Taina**

Ins. AMK  
Projektipäällikkö

**INSINÖÖRITOIMISTO R. KAJANDER OY  
KAUPPATORI 2  
45700 KUUSANKOSKI**

**ASUNTO OY VIRVAKOTO  
REIM KYMI OY / ISÄNNÖITSIJÄ VIRVA SALO  
KAUPPA-AUKIO 1  
45700 KUUSANKOSKI**

### **TALON 1 PAINUMAN KORJAAMINEN**

Talon 1 eteläpäädyn kolmen asunnon lattiat vaaittiin v. 2011. Lattia ja perustukset olivat painuneet eniten asunto A:n ulkoseinälinjalla. Painuma oli 16,5 mm. Viimeisen vuoden aikana painumaa on tullut päädyn oikeaan nurkkaan 15 mm lisää.

Asuntojen A ja B väliseinän kohdalla painumat olivat v. 2011 80 – 100 mm, vuoden aikana painumaa on tullut 2 – 4 mm lisää.

Asuntojen B ja C väliseinän kohdalla painumat olivat 20-30 mm, lisäpainumia ei mittausten mukaan viimeisenä vuotena ole tullut.

Ramboll Oy on tehnyt alustavan korjaussuunnitelman maaperän vahvistamisesta ja perustusten sekä lattioiden nostamisesta uretaanilla. Näiden töiden kustannuksiksi on arvioitu n. 25.000 € ( alv 23 % ).

Koska painumat ovat näinkin suuret , niin edellisten töiden lisäksi tehtäväksi tulee myös rakennusteknisiä- ja LVIS- töitä. Rakennusta ei voida nostaa muita rakenteita vaurioittamatta.

Todennäköistä on, että lattioiden nostossa viemärit jäävät painuksiin ja irtoavat liitoksistaan. Tämä merkitsee lattioiden purkua, soratäyttöjen tiivistämistä ja uusien lattioiden tekoa ainakin asuntojen A- ja B osalta. Lattioiden uusiminen aiheuttaa lukuisia muita töitä, mm. kalusteet tulee irrottaa ja asentaa uudelleen, kahden asunnon kylpyhuoneiden vesieristykset ja pintamateriaalit tulee uusittavaksi yms.

Korjauskustannukset tulevat olemaan huomattavat.

### **Toimenpide- ehdotukset**

Esitän, että korjaustyöt tehdään vaiheittain.

#### **Vaihe 1:**

- talon nosto Ramboll Oy:n suunnitelman mukaan
- viemäreiden kuvaus ja jos ne todetaan toimiviksi, niin välttämättöminä korjaustöinä tulee tehtäväksi ainakin:
  - pesuhuoneiden peruskorjaus 2 huoneistoa
  - seinälevytysten ja pinnoitteiden uusiminen



- vesikalusteiden ja sähköasennusten irrotus ja uudelleen kytkeminen
- listoitusten uusimisia
- ovien ja ikkunoiden säädöt
- tiiliverhouksen korjauksia
- vesikatteen korjauksia
- yläpohjan lämmöneristeen korjauksia ja lisäyksiä

Jos näillä korjaustoimenpiteillä selvittää, niin kokonaiskustannukset korjauksista ovat n. 65.000,00.

Vaihtoehtona kannattaa harkita vain talon nostoa ja asuntojen käyttöä esim. vuokravarastona.

#### Vaihe 2:

Jos viemärit eivät nouse lattioiden mukana ja huoneistot halutaan asuntokäyttöön, niin sekä lattiat ja viemärointi on uusittava.

Kokonaiskustannusarvio peruskorjauksesta on tällöin 100.000 – 120.000,00 € oletuksella, että asunnon C osalla korjaustyöt rajoittuvat lattian nostoon ja listoituksiin.

#### Vaihtoehto

Vaihtoehtoisesti asunnot A ja B voitaisiin purkaa. Tällöin asunto C:n päätyyn tulisi purkutyön jälkeen rakentaa perustukset, lämmöneristykset ja tiiliverhous. Kustannusarvio em. töistä on n. 35.000,00 €.

Kuusankoskella kesäkuun 20 päivänä 2012

Insinööritoimisto R. Kajander Oy

Raimo Kajander