



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Pohjarakenteiden suunnittelu

Eero Slunga, emeritusprofessori

Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto
eero.slunga@hut.fi

1 Yleistä

Pohjarakennusohjeiden [1] mukaan pohjarakenteet ovat *pysyviä* rakennusten ja muiden rakenteiden perustuksia, maanvastaisia seinä- ja lattiarakenteita, kuivanapitorakenteita, routa- ja muita suojarakenteita, rakennettuja rakennuspohjia ym. maarakenteita tai *työnaikaisia* kaivantojen tuenta-, pohjavedenalennus- ja suojarakenteita. Tässä artikkelissa rajoitutaan käsittelemään ensisijaisesti talonrakennukseen liittyviä pohjarakenteita.

Pohjarakenteiden suunnittelu käsittää geoteknisen ja rakenteellisen osan. *Geoteknisellä suunnittelulla* selvitetään rakenteiden geotekninen toimintatapa ja siihen vaikuttavat tekijät sekä tehdään geoteknisen mitoituksen ja osoitetaan yksityiskohtaisesti ne menettelytavat, joilla suunniteltu tulos saavutetaan.

Rakennussuunnittelulla varmistetaan rakennuksen tai rakenteen staattinen toiminta pohjarakenteiden painumien ja siirtymien pysyessä geoteknisen mitoituksen perusteena olleissa rajoissa. Pohjarakenteiden tulee toimia tarkoitetulla tavalla sekä rakenteiden käytön että rakennustyön eri vaiheiden aikana. Suunnittelijoiden tulee työskennellä keskinäisessä vuorovaikutuksessa ristiriidattoman kokonaissuunnitelman varmistamiseksi. Tässä artikkelissa päähuomio kohdistuu geotekniseen suunnitteluun pienrakentajat huomioon ottaen.

2 Rakennuspohjan laadun selvittäminen

2.1 Erivaiheiset pohjatutkimukset

Rakennuspohjan laatu selvitetään pohjatutkimuksilla. Pohjatutkimusten tarpeen arviointi sekä tarvittavien tutkimusten ohjelmointi kuuluu geotekniseen suunnitteluun. Pieniä kohteita lukuun ottamatta pohjatutkimukset tehdään yleensä vaiheittain pohjarakennussuunnittelun etenemistä vastaavassa laajuudessa. Jokaisessa

vaiheessa käytetään hyväksi aikaisemman vaiheen tutkimustulokset ja muut käytettävissä olevat tiedot.

Mikäli suunniteltava rakennus on kaavoitetulla alueella, niin rakennuspaikka on jo määritetty ja pohjatutkimukset voidaan tehdä tulevan rakennuksen kohdalla. Ensimmäisen vaiheen tutkimus on tällöin ns. *yleispiirteinen pohjatutkimus*, jonka perusteella voidaan laatia pohjarakennusluonnos. Yleispiirteisen pohjatutkimuksen tulee olla niin kattava, että sen perusteella voidaan määrittää rakennuksen perustamistapa (maanvarainen, paaluperustus jne.), mutta sen perusteella ei vielä voida tehdä yksityiskohtaista pohjarakennussuunnitelmaa, ellei kyseessä ole yksinkertainen kevyt rakennus kantavalla maalla. Yleispiirteisen tutkimuksen perusteella tulee myös pystyä arvioimaan rakennuspaikan maalajien routivuus, piha-alueiden rakenneratkaisut, kaivantojen tukemistarve, pohjaveden alennustarve, kuivatusvesien poistomahdollisuudet sekä rakentamisen vaikutus ympäristöön ja toisaalta ympäristön vaikutukset rakentamiseen.

Toteuttamiskelpoisen pohjarakennussuunnitelman tekemistä varten tarvitaan yleensä vielä ns. *yksityiskohtainen pohjatutkimus*, joka on niin kattava, että sen perusteella voidaan suunnitella yksityiset perustukset ja mahdolliset perustamistavan muutoskohdat, liittyvät rakenteet, kaivannot, rakennuspaikan kuivanapito ja routa- ym. suojausrakenteet. Yksityiskohtaisen tutkimuksen perusteella tulee voida laatia myös yksityiskohtaiset työsuunnitelmat. Yksityiskohtainen tutkimus täydentää aikaisemmin tehtyä yleispiirteisistä tutkimista. Pienten kohteiden yhteydessä tutkimukset kannattaa pyrkiä tekemään kerralla riittävän kattavina.

Pohjatutkimukset on tehtävä yleisesti hyväksytyillä menetelmillä, jotka on normaalikäytännön osalta esitetty Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen laatimissa Kairausoppaissa I...V [2–6]. Tutkimukset käsittävät yleensä kairauksia ja näytteenottoa sekä pohjavesihavaintoja. Vaativissa kohteissa tarvitaan erikoisselvityksiä.

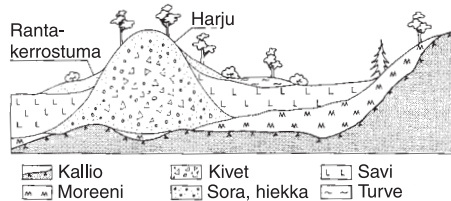
2.2 Pohjatutkimuksella selvittävät asiat

Kuvassa 1 nähdään Etelä-Suomen rannikkoalueiden tyypilliset maakerrokset. Sisämaassa niillä alueilla, jotka eivät ole olleet jääkauden jälkeisen veden peittämiä, pehmeät savikerrokset puuttuvat ja hiekka- tai moreenimuodostumat alkavat yleensä maanpinnasta. Monin paikoin tavataan myös ”luonnonoikkuja”, joita ovat esimerkiksi harjujen reuna-alueilla esiintyvät rantakerrostumat. Niissä savikerrosten päällä saattaa olla paksuudeltaan vaihtelevia hiekkakerroksia.

Pohjatutkimuksella pitää selvittää ennen kaikkea rakennuspaikan topografia ja maakerrokset sekä kerrosten tärkeimmät ominaisuudet kuten maalaji, kokoonpuristuvuus, leikkauslujuus, routivuus ja usein myös vedenläpäisevyys kaivannon kuivapanotia tai pohjavedenpinnan alentamista silmälläpitäen. Maakerrosten ilmanläpäisevyys radon-alueilla voidaan yleensä arvioida vedenläpäisevyyden perusteella [7]. Tutkimukset tulee ulottaa niin syväälle, kuin se on tarpeen pohjarakennussuunnitelman laatimista varten. Tarpeellinen tutkimussyvyys riippuu mm. maakerrosten laadusta, rakennustyyppistä sekä rakennuspaikan lähiympäristöstä.

Maanvaraisten antura- ja laattaperustusten yhteydessä kairaustutkimukset tulee ulottaa vähintään 1,5...2 kertaa anturan/laatan leveyden verran perustamistason alapuolelle. Näissäkin tapauksissa on yleensä syytä kairata 1...2 pisteesä maakerrosten läpi luonnonoikkujen varalta. Maakerrosten ominaisuuksien selvitys perustusten kantavuuden ja painuman sekä pinta-kerrosten routivuuden arviointia varten edellyttää yleensä näyteenottoa maakerroksista ja näytteiden laboratoriotutkimuksia.

Tutkimusten kattavuus riippuu kunkin rakennuskohteen luonteesta ja naapurirakennuksista mahdollisesti käytettävissä olevista kokemuksista. Kantavapohjaisella rakennuspaikallakin

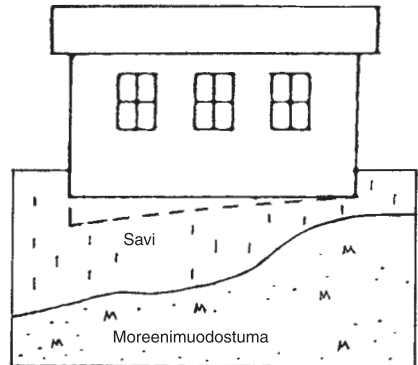


Kuva 1. Maaperän rakenne Etelä-Suomessa veden peittämällä alueella [28].

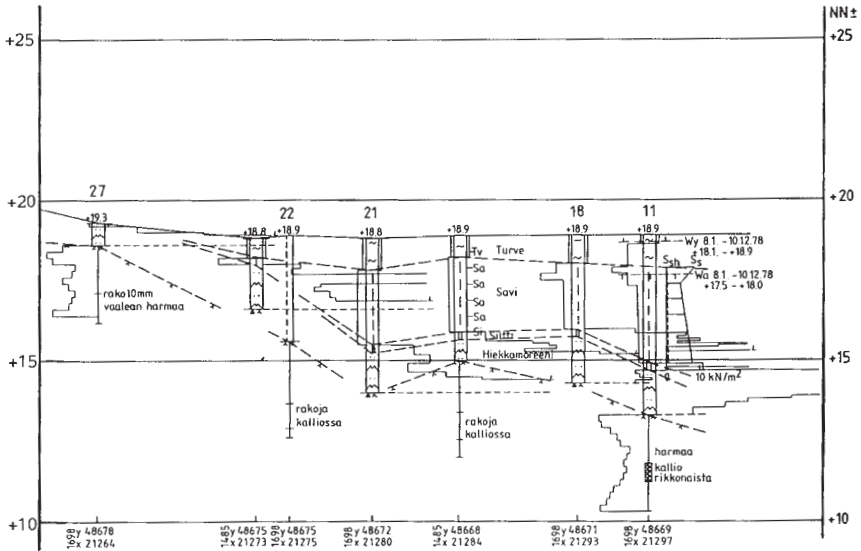
maalajin tunnistaminen ja routivuuden arviointi edellyttävät yleensä ainakin häiriintyneiden pintamaanäytteiden ottamista ja seulontaa. Pelkkään lähiympäristön kokemukseen luottaminen saattaa johtaa ikäviin yllätyksiin, koska maaperän kerrosrakenne saattaa muuttua pienelläkin matkalla [30]. Erityisen varovainen tulee olla rinnealueilla sekä ns. kovan ja pehmeän maan raja-alueilla. Kovin harvinaisia eivät ole tapaukset, joissa vasta anturakuoppia kaivattaessa on havaittu, että pitääkin siirtyä paaluperustuksiin. Tilanne on seurauksiltaan vielä onnettomampi, ellei pohjan heikkoutta silloinkaan havaita. Usein jo 1...2 kairausta olisi riittänyt paljastamaan tilanteen ”karmeuden” (kuva 2). Tämän vuoksi vähintään 4 koetinkairauksen suositus (nurkkapistet) pientalokohteissakin kannattaa ottaa vakavasti.

Mikäli rakennukseen tulee kellaritiloja, on selvittävä maakerrosten kaivettavuus sekä mahdollinen kallion louhintatarve. Kaivantojen suunnittelua silmälläpitäen on selvittävä kaivannon tukemistarve. Pohjatutkimukset on ulotettava niin laajalle alueelle, että ne kattavat myös mahdollisten tukirakenteiden (mm. ulko-puoliset ankkurit) vaatiman tilan, jotta rakenteet voidaan suunnitella.

Paaluperustusten yhteydessä kairausten tulee ulottaa vähintään 5 kertaa paalun halkaisijan verran paalujen arvioidun kärkitason alapuolelle; käytännössä yleensä niin syväälle kuin tavallinen koetinkaira (paino-/heijarikaira) tunkeutuu. Mahdollisten luonnonoikkujen toteutukseksi on joka tapauksessa syytä ulottaa pari kairausta ”pohjaan” saakka. Jos paalut aiotaan ulottaa kallion pintaan saakka, niin kallion pinnan sijainti tulee varmistaa esimerkiksi porakonekairauksilla poraamalla ehjään kallioon



Kuva 2. Esimerkki rakennuksen epäedullisesta paikasta ja huonosta perustamistavan valinnasta. Maanvarainen rakennus painuu epätasaisesti.



Kuva 3. Esimerkki pohjatutkimuslinjan pituusleikkauksesta (yksityiskohtainen tutkimus) [8].

2...3 m. Kallioon ulotettavia paalutyyppejä ovat mm. porapaalut ja usein myös kaivinpäälut.

Rakennuspaikan lähiympäristössä olevien rakennusten perustamistapa joudutaan usein selvittämään, jotta osataan suunnitella rakennusten suojaamiseksi mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet. Suojaustoimenpiteitä tarvitaan usein pehmeiköillä ja syvien kaivantojen läheisyydessä, missä naapurirakennukset helposti vaurioituvat painumien ja siirtymien vuoksi tai puupäälut lahoavat pohjavedenpinnan alenemisen vuoksi.

Pohjavedenpinnan korkeus on selvitettävä yleensä aina pohjatutkimuksen yhteydessä. Eriytyisen tärkeää on tietää pohjavedenpinnan korkeus pehmeikköalueilla sekä rakennuskohteissa, joissa maanvaraiset perustukset tai kaivannon pohja ulottuvat pohjavedenpinnan alapuolelle tai sen läheisyyteen. Pohjaveden läsnäolo vaikeuttaa suuresti perustamis- ja kaivantotöiden toteutusta. Pohjaveden pinnan korkeushavainnot tulee aina varustaa havaintopäivämäärällä. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon, että pohjavesi voi olla rakennusaikana eri tasolla kuin havaintoja tehtäessä, varsinkin jos havainnot tehdään kaivoista [5].

2.3 Pohjatutkimustulosten esittäminen

Pohjatutkimuspisteiden sijainti esitetään asemapiirroksessa yleisesti hyväksytyjä pohjatut-

kimusmerkintöjä käyttäen [27]. Kairausten ja näytetutkimusten tulokset esitetään tutkimuslinjojen pituusleikkauspiirustuksissa (kuva 3). Tutkimusten tulostukseen kuuluu myös pohjatutkimusselostus, jossa selostetaan tehdyt tutkimukset ja rakennuspaikan pohjasuhteet. Selostuksessa on paikallaan myös ideoita mahdollisia pohjarakennusratkaisuja. Pohjatutkimuspiirustusten sisällöstä ja esitystavasta on yksityiskohtaiset ohjeet mallipiirustuksineen julkaisussa Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet [8].

Lopullista toteutus suunnitelmaa laadittaessa em. pituusleikkauspiirustuksiin voidaan lisätä suunnitellut rakenteet, esimerkiksi perusanturat, maarakenteet, salaojituserokokset, routasuojat yms. Näin laaditut ”pohjarakennuspiirustukset” helpottavat suunnitelman tulkintaa ja toteutusta työmaalla.

3 Pohjarakennus-suunnitelma

3.1 Yleistä

Talonrakennuksen geosuunnittelun tehtäväluetelossa, GEO-95 [9], on esitetty yksityiskohtaisesti tässä tarkoitettuun geoteknisen suunnittelun sisältö. Suunnittelu etenee vaiheittain. Tavalliset suunnitteluvaiheet ovat luonnossuunnittelu, toteutus suunnittelu sekä rakennusaikaisten ja

käyttöönottoon liittyvien valvonta- ja tarkkailu-tehtävien suunnittelu. Rakenteellinen suunnitelu tehdään kyseistä rakennusmateriaalia koskevien määräysten ja ohjeiden mukaan.

Vallitseva pohjarakenteiden mitoitusmenetelmä on osavarmuuslukumenetelmä. Kokonaisvarmuuslukumenetelmääkin voidaan käyttää silloin, kun siihen on perustelua syytä. Kokonaisvarmuusmenettelyä on käytetty lähinnä paaluperustusten ja maaluiskien mitoituksessa, koska osa niitä koskevista mitoitushojeista perustuu edelleen kokonaisvarmuuden käyttöön.

Tällä hetkellä pohjarakenteet voidaan suunnitella ja mitoitaa Rakenteiden kuormitusohjeissa RIL 144 [10] ja Pohjarakennusohjeissa RIL 121 [1] esitettyjen määräysten ja ohjeiden mukaan tai vaihtoehtoisesti Eurocode 7:n esinormin ENV 1997:1994 [11] ja siihen liittyvän Kansallisen soveltamisasiakirjan [12] mukaan. ENV:n ja Kansallisen soveltamisasiakirjan käytön helpottamiseksi Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL on julkaissut ohjeen Geotekninen suunnittelu, Euronormi, RIL 207-1998 [13], jossa ENV ja soveltamisasiakirja on yhdistetty. Sekä Pohjarakennusohjeet että Euronormi on laadittu osavarmuusperiaatteen mukaan. Eurocodea kehitetään edelleen varsinaiseksi euronormiksi (EN) ja se tulee ainoaksi suunnitteluohjeeksi noin vuoden 2005 jälkeen.

3.2 Pohjarakennussuunnitelman sisältö

3.2.1 Yleistä

Pohjarakennussuunnitelman on oltava sitä yksityiskohtaisempi, mitä vaativampi rakennuskohde on pohjasuhteiltaan, rakenteiltaan ja työmenetelmiltään. Hyvin vaativien ja vaativien kohteiden [1] osalta suunnitelman on käsitettävä perustukset, muut pysyvät pohjarakenteet, maarakenteet, routasuojaukset, kuivanapidon, kairannot ja putkijohdot. Helpoissa kohteissa riittää yleensä perustusten, routasuojauksen ja kuivanapidon suunnittelu. Helppoja kohteita ovat esimerkiksi karkearakeisten maalajien ja moreenimaalajien alueille sekä kallioisille alueille sijoittuvat kevyet rakennukset ja rakenteet (mm. rivi- ja omakotitalot). Mikäli em. talot tehdään hienorakeisten tai eloperäisten maalajien (turve/lieju) alueille tai täytemaalle, niin nekin ovat vähintään vaativia rakennuskohteita, joissa perustamistavan suunnittelu edellyttää kattavaa pohjatutkimusta ja ammattitaitoista geoteknistä suunnittelijaa. Suunnittelijan pätevyysvaatimuksia on esitetty Pohjarakennusohjeissa [1].

3.2.2 Perustukset

Perustamistapa. Maanvaraiset antura-, pilari- ja laattaperustukset ovat yleensä taloudellisia, mi-

käli niiden käyttö on rakennuspaikan pohjasuhteiden ja topografian vuoksi mahdollista. Mikäli maanvarainen perustaminen ei ole mahdollista, käytetään paaluperustuksia. Perustukset tulee ulottaa sellaiseen syvyyteen, että niillä on riittävä kantokyky eli kantavuus pohjamaan murtumisen suhteen ja että perustusten painumat sekä eri perustusten väliset painumaerot pysyvät riittävän pieninä.

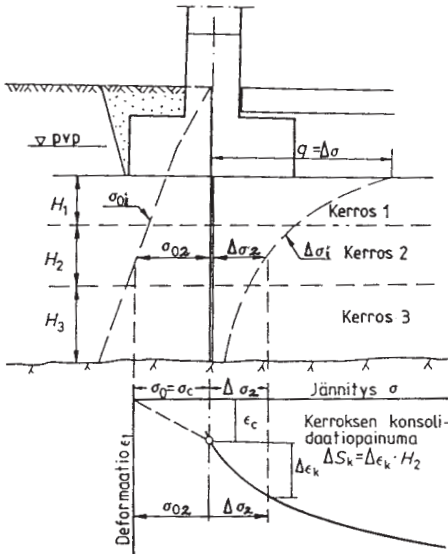
Pohjarakennusohjeiden mukaan *maanvaraisen perustuksen* perustamissyvyyden tulee olla vähintään 0,3 m, perusmuurianturan syvyyden vähintään 0,3 m ja pilarianturan koon vähintään 0,4 x 0,4 m². Todellinen perustuksen koko ja upotussyvyys riippuu mm. kellaritilojen tarpeesta sekä rakennusohjan routivuudesta ja geoteknisestä kantavuudesta [1]. Geotekninen kantavuus voidaan tarkistaa puolikokeellisilla kantavuuskaavoilla ja painumalaskelmilla pohjatutkimustulosten perusteella. Keskeisesti kuormitetuilla perustuksilla painumalaskelman tulos on yleensä määräävä.

Pohjarakennusohjeissa on esitetty suositeltava kantavuuskaava. Kantavuuskaavaa voidaan käyttää maan kantokyvyn arviointiin vain tasalaatuisessa tai lievästi kerroksellisessa maassa maanpinnan ollessa vaakasuora. Lievästi kerroksellisessa maassa eri kerrosten kitkakulmat saavat poiketa niiden aritmeettisesta keskiarvosta enintään viisi astetta [14]. Kaltevilla ja kerroksellisilla rakennusohjilla tulee käyttää esimerkiksi liukupinta-analyysejä. Kantokykylaskelma varten on selvittettävä rakennusohjan maakerrosten tilavuuspaino, kitkakulma ja koheesio sekä pohjavedenpinnan korkeus.

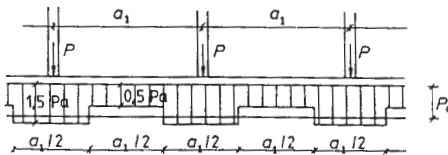
Kuvassa 4 esitetään anturaperustuksen konsolidaatiopainuman laskentaperiaate. Perustuksen alla oleva pohjamaa jaetaan pohjatutkimustulosten perusteella geoteknisiin kerroksiin, joiden paksuus on Δh_i . Kullekin kerrokselle i määritetään tai arvioidaan tehokas tilavuuspaino γ_i ja lasketaan maan omasta painosta aiheutuva jännitys (kuorma) σ_{oi} sekä perustuskuorman q aiheuttama pystysuora lisäjännitys $\Delta\sigma_i$ kerroksen keskellä. Tämän jälkeen määritetään kunkin kerroksen kokoonpuristuvuusmoduuli M_i kokoonpuristuvuuskokeiden avulla. Moduuli M_i määritetään jännitysalueelta $\Delta\sigma_{oi} \dots (\Delta\sigma_{oi} + \Delta\sigma_i)$. Perustuksen kokonaiskonsolidaatiopainuma S_k saadaan geoteknisten kerrosten painumien summasta kaavasta (1).

$$S_k = \sum_{i=1}^n (\Delta\sigma_i / M_i \cdot x \Delta h_i) = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \cdot x \Delta h_i) \quad (1)$$

Hienorakeisissa maalajeissa konsolidaatiopainuma tapahtuu hitaasti. Konsolidaatiopainumaan kuluva aika arvioidaan kokoonpuristuvan maakerroksen paksuuden ja kokoonpuristuvuuskokeella määritetyn konsolidaa-



Kuva 4. Konsolidaatiopainuman laskentaperiaate; kerroksen 2 konsolidaatiopainuma [14].



Kuva 5. Likimääräinen pohjapaineen jakautuma Schultzen mukaan [14].

tiokertoimen avulla. Rakennuksen kokonaispainuman suuruutta lisää vielä pääosin rakennusaikana tapahtuva alkupainuma, jonka suuruus on yleensä 10...20 % kokonaispainumasta. Eloperäisillä maalajeilla tapahtuu lisäksi merkittävästi maakerroksen rakenteen vurumista pitkän ajan kuluessa.

Jos anturaperustusten pinta-ala tulisi suuremmaksi kuin puolet rakennuksen koko pohjapinta-alasta, tehdään rakennuksen alle tavallisesti yhtenäinen ns. reunajäykistetty laatta. Laatta saattaa suurentaa rakennuksen kokonaispainumaa, mutta jäykkä laatta pienentää painumaeroja. Laattaperustusta käytetään yleisimmin pehmeikköalueilla kuivakuoren varaan perustettaessa.

Painumalaskelmia tehtäessä jäykän anturaperustuksen alapuolella vaikuttava pohjapaine

(kosketuspaine) voidaan otaksua tasaisesti jakautuneeksi. Yhtenäistä laattaa käytettäessä pohjapaine voidaan otaksua tasaisesti jakautuneeksi vain alustavissa painumatarkasteluissa, kun tutkitaan onko maanvarainen perustaminen yleensä mahdollista. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa on taloudellisempaa käyttää esimerkiksi kuvan 5 mukaista likimääräistä pohjapaineen jakautumaa [14]. Parhaaseen tulokseen päästään numeerisilla menetelmillä, jotka ottavat huomioon rakenteen ja pohjamaan jäykkyyden sekä muodonmuutosten (taipumien) yhteensopivuuden. Jännityksen jakautuminen syvemmällä maakerroksissa (Δh_i) määritetään yleensä kimmoteorian perusteella. Käyttökelpoisia menetelmiä on esitetty mm. julkaisuissa 15 ja 16.

Tavanomaisissa rivi- ja pientalo-kohteissa erillinen painumalaskelma ei ole yleensä tarpeen, jos rakennus on perustettu karkearakaiselle maalle tai moreenimaalle ja kantokyvyn kokonaisvarmuus on vähintään 2, 5...3 eikä perustustason alapuolella ole pehmeämpiä maakerroksia kuin perustustason kerros. Hienorakaisella alustalla painumalaskelma tai -arvio on aina tarpeen.

Yksityiskohtaisia kantavuus- ja painumalaskelmaesimerkkejä on esimerkiksi RIL:n käsikirjoissa Geomekaniikka I [15] ja Geomekaniikka II [16]. Likimääräisiä ohjearvoja erilaisten maalajien kitkakulmalle ja tilavuuspainolle on esitetty Pohjarakennusohjeissa. Kantavuus- ja painumalaskelman tarkkuus riippuu ratkaisevasti em. maaparametrien tarkkuudesta, joten kyseisiä parametrialvoja selvitetäessä tarvitaan geoteknistä asiantuntemusta. Erilaisten rakennustyyppien sallittuja kokonaispainumia ja painumaeroja on esitetty mm. julkaisuissa [1].

Pohjakerroksen lattiat on myös edullista perustaa maan varaan, jos se on pohjamaan kantavuuden ja topografian vuoksi mahdollista. Lattian painuma saa yleensä olla enintään 10 mm suurempi kuin kantavien seinärakenteiden painuma [1]. Mikäli lattian painuma tulisi suuremmaksi, on syytä tehdä kantava alapohja. Maanvaraisen lattian alle joudutaan yleensä jonkin verran tiivistämään salaojasoraa ym. täyttökerroksia. Mikäli täyttökerroksen paksuus tulisi suuremmaksi kuin yksi metri, on syytä harkita kantavan lattian käyttöä, koska paksuun täyttökerroksen tiivistäminen helposti epäonnistuu. Radonkaasun esiintymisalueilla maanvaraiselle alapohjalle voidaan joutua asettamaan erityisvaatimuksia tiiviyden ja/tai lattian alapuolisen tuuletuksen suhteen [7].

Jos rakennuspaikkaa on korotettu täyttämällä, on painumatarkasteluissa otettava huomioon myös täytön paino. Täyttökerros painaa usein enemmän kuin sen päälle tehty rakennus. Pohjavedenpinnan aleneminen myös suurentaa kokoonpuristuvalla alustalla olevan rakennuksen

painumaa, joten sekkin on otettava tarvittaessa huomioon.

Paaluperustuksia käytettäessä rakennuksen kuormat siirretään paaluilla heikostikantavien maakerrosten alapuolelle. Materiaaliltaan paalut saattavat olla teräsbetonia tai terästä. Sopivissa olosuhteissa voidaan käyttää myös puupaaluja. Talonrakennuskohteissa käytettävät paalut ovat valmistustavaltaan yleensä maatasyrjyittäviä lyöntipaaluja tai ns. suurpaaluja. Pientalokohteiden paalut ovat useimmiten lyöntipaaluja. Porapaaluja käytetään kohteissa, joissa lyöntipaaluja ei voida käyttää tila- ja hinnan vuoksi.

Paalujen upotussyvyys ja kantokyky voidaan arvioida laboratoriotutkimuksiin tai kairausvastukseen perustuvilla kantavuuskaavoilla, paalutuskäytännöllä sekä dynaamisella tai staattisella koekuormituksella [14]. Paalutuskäytännön ja dynaamisesta koekuormituksesta käytetään vain tukipaalujen ja karkearakkeiseen maakerrokseen päätyvien kitkapaalujen kantavuuden arvioimiseen.

Tukipaalujen ja karkearakkeiseen maakerrokseen päätyvien, lyömällä asennettujen kitkapaalujen painuma on tavanomaisia pientalokohteita silmälläpitäen riittävän pieni, mikäli kantokyvyn kokonaisvarmuus on suuruusluokkaa 2,5...3 eikä paalun kärkien alapuolella ole pehmeämpiä maakerroksiä. Koheesiopaaluja käytettäessä painumatarkastelu on aina tarpeen. Painumalaskelmaa tarvittaessa on syytä turvautua asiantuntijan apuun.

Paaluperustuksen kantokyvyn ja painuman arviointia on käsitelty yksityiskohtaisesti lähteissä [17, 18, 14]. Paalutustyön toteutusta koskevat yleisohjeet on esitetty lähteissä [17 ja 18]. Yleisohjeet kaipaavat kuitenkin aina kyseessä olevan kohteen erityispiirteiden osalta täydentäviä ohjeita, jotka tulee antaa paalutustöiden työselityksessä. Erikoispaaluja koskevia ohjeita on esitetty myös kyseisten paalujen tyyppihyväksyntäasiakirjoissa.

Paalutettujen rakennusten yhteydessä käydetään yleensä kantavaa alapohjaa. Jos kantavan lattian alle jää ilmatilaa, on huolehdittava tilan kuivautumisesta ja tuulettamisesta niin, ettei kosteus- tai radonhaittoja synny.

Rakennesuunnittelu. Perustusten rakennesuunnittelu tehdään teräsbetoni- tai teräsrakenteita koskevien määräysten ja ohjeiden mukaan. Erillisiä, jäykkiä anturaperustuksia mitoitettaessa pohjapaine otaksutaan tasaisesti jakautuneeksi. Yhtenäistä laattaperustusta mitoitettaessa pohjapaineen jakautuma voidaan otaksua likimäärin kuvan 5 mukaiseksi. Tarkempi mitoitus voidaan tehdä numeerisia laskentamenetelmiä käyttäen. Maanpaineen kuormittamien rakenteiden osalta ks. 3.2.4.

Kosteus- ja homevaurioiden vaaran vähentämiseksi rakennuksen sokkelin tulee olla riittä-

vän korkea; yleensä vähintään 300...500 mm. Mikäli sokkeli on matalampi, on rakennuspohjan kuivatus suunniteltava ja toteutettava erityisen huolellisesti [30].

3.2.3 Putkistot

Talonrakennuskohteeseen liittyvät vesi-, viemäri ja kaukolämpöputket perustetaan periaatteessa samoilla menetelmillä kuin kantavat rakenteetkin. Perustus- ja rakennustavasta johtuvat putkien painumat ja painumaerot eivät saa heikentää putkien toimintaa eivätkä aiheuttaa putkien rikkoutumista tai vuotoja. Putket on sijoitettava ja suojattava siten, ettei maaperän rouhtauminen tai routiminen vaaranna putken toimintaa [29]. Putkien sallittuja painumia ja painumaeroja on esitetty mm. lähteessä [14].

Putkistojen perustuksia suunniteltaessa on erityisesti otettava huomioon liittymiset eri tavalla painuviin rakenteisiin, putkien risteämiset sekä liikennealueiden ja täytkökohtien alitukset kokoonpuristavalla pohjamaalla. Putkien sijoittamista perustusten alle tulisi välttää.

Paalutettujen rakenteiden vieressä ja kantavien alapohjien alla putket voidaan ripustaa kantaviin rakenteisiin tai perustaa paaluilla, mikäli painumat uhkaavat tulla liian suuriksi. Paalutettujen rakennusten ja paaluttamattomien putkien liittymäkohdissa voidaan käyttää myös kaksoiskaivoja tai riittävän joustavia liittoksia.

Putken ympärystyttöä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon putkimateriaalin (betoni, teräs, muovi) jäykkyys. Tämä koskee erityisesti isolämpimittäisiä teräs- ja muoviputkia. Isojen muoviputkien asennusohjeita on esitetty julkaisussa [19].

3.2.4 Maanpaineen kuormittamat rakenteet

Pysyviä maanpaineen kuormittamia rakenteita ovat esimerkiksi kellarikerroksen seinät, autotallin ajoluiskien seinät ja rakennuksen ulkopuoliset tukimuurit. Tilapäisiä maanpaineen kuormittamia rakenteita ovat mm. rakennusai-kaisten kaivantojen tukiseinät.

Siirtyvään jäykkään rakenteeseen vaikuttava maanpaine voidaan määrittää aktiivisena maanpaineena. Siirtyväksi jäykäksi rakenteeksi katsotaan sellainen rakenne, joka voi siirtyä niin paljon, että aktiivinen maanpaine kehittyy. Tällainen rakenne on esimerkiksi maan varaan perustettu tukimuuri.

Savimaassa maanpinnan läheisyydessä maanpaineen otaksutaan olevan vähintään yhtä suuri kuin maanpinnan tasoon ulottuvan vesi-kerroksen aiheuttama paine.

Siirtyviä taipuvia rakenteita ovat esimerkiksi yhdeltä tai usealta tasolta ankkuroidut tai tuetut tukiseinät. Tällaiseen rakenteeseen kohdistuvan maanpaineen suuruus ja jakautuminen määritetään yleensä klassiseen maanpaineteoriaan pe-

rustuvilla menetelmillä. Yksityiskohtaisia ohjeita maanpaineen määrittämiseksi sekä esimerkkilaskelmia on esitetty Rakennuskaivanto-ohjeissa [20] ja Putkikaivanto-ohjeissa [21].

Siirtymätön rakenne mitoitetaan aktiivipainetta suuremmalle lepopaineelle. Siirtymätöminä rakenteina pidetään esimerkiksi väliseinillä ja palkistoilla jäykistettyjä, betonisia kellarin seinäjä sekä kallioon kiinnitettyjä tukimuureja.

Viivakuormituksen ja keskitetyn kuormituksen aiheuttaman maanpaineen suuruus saadaan maanpaineteorian perustuen tai liukupintalaskelmissa. Maanpaineen jakautuminen määritetään yleensä kimmoteorian perustuen. Liki-määräinen kimmoteoriaan perustuva laskentatapa maanpaineen jakautumiselle on esitetty Pohjarakennusohjeissa.

Maanpaineeseen vaikuttavia lisätekijöitä ovat mm. tärinä, tiivistys tukiseinän takana ja routa. Näiden tekijöiden aiheuttama maanpaineen lisäys voidaan arvioida tai estää Pohjarakennusohjeiden [1] mukaan ottaen huomioon häiriön laatu, häiriölähteen etäisyys sekä maakerrosten ominaisuudet.

Maanpaine vedenpinnan alapuolella laskeaan maan tehokasta (nosteellista) tilavuuspainoa käyttäen ja vedenpaine-ero lasketaan erikseen. Koheesiomaassa voidaan käyttää veden kyllästämän maan kokonaistilavuuspainoa eikä vedenpainetta tarvitse laskea erikseen. Maan- ja vedenpaineen suuruutta laskettaessa tulee ottaa huomioon vedenpaine-ero seinän eri puolilla sekä mahdollisesta virtauksesta aiheutuva aktiivipaineen kasvu ja passiivipaineen pienentyminen. Lisäksi on tarkistettava, että hydraulista murtumisvaaraa ei synny [1].

3.2.5 Kaivanto

Kaivannot tehdään joko luiskattuina tai tuettuina. **Luiskattujen** yli kaksi metriä syvien kaivantojen vakavuus on tarkistettava vakavuuslaskelmissa. Matalammissa kaivannoissa voidaan käyttää Talonrakennuksen maatöiden työselityksessä [22] esitettyjä luiskien kaltevuuksia. Jos kaivanto jää koheesiomaassa pitkäksi aikaa auki, on tarkistettava luiskan tai tukiseinän sekä lyhytaikainen että pitkäaikainen vakavuus. Tuettujen kaivantojen tukirakenteiden mitoitus tehdään Rakennuskaivanto-ohjeen [20] tai Putkikaivanto-ohjeen [21] mukaan.

Kaivannon pohjarakennussuunnitelmaan on sisällytettävä kaivannon pohjatutkimuspiirustusten ja työselityksen lisäksi työvaihepiirustukset, mitoituspiirustukset ja rakennepiirustukset. Mitoituspiirustukset sisältävät käytetyt lähtöarvot sekä tukiseinään vaikuttavat maan- ja vedenpaineet, leikkauvoimat ja taivutusmomentit. Rakennepiirustukset esittävät tukiseinät kaivannosta katsottuina sekä riittävän määrän tukiseinien leikkauksia. Jos olosuhteet muuttu-

vat mitoituksessa otaksutusta tilanteesta, niin suunnitelma on tarkistettava.

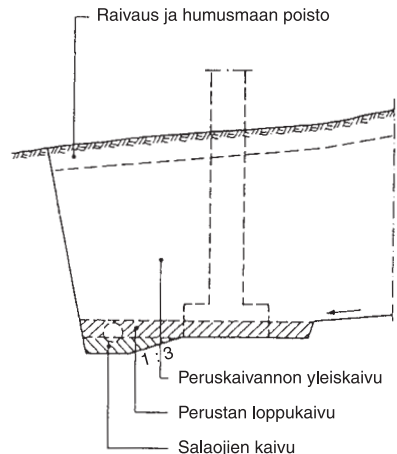
3.2.6 Maatyöt

Perustuksia varten tehtävät **kaivutyöt** ja varsinkin ns. loppukaivu (kuva 6) on tehtävä siten, että perustukset ja niiden alle tulevat täytöt voidaan tehdä häiriintymättömän pohjamaan varaan. Mahdollisesti häiriintynyt pohjamaa on poistettava tai perustus on ulotettava syvemmälle, jos se on mahdollista. Pohjamaan häiriintymistä voidaan vähentää peittämällä pohja heti kaivun jälkeen suodatinkerroksella tai kankaalla ja sen päälle tiivistettävällä sorakerroksella tai tekemällä pohjavedenalennus ennen kaivua. Lähellä pohjavedenpintaa ensimmäisen sorakerroksen tiivistäminen saattaa olla ongelmallista, jos pohjamaa on häiriintymisherkkää. Kaivannon pohjan routiminen on estettävä.

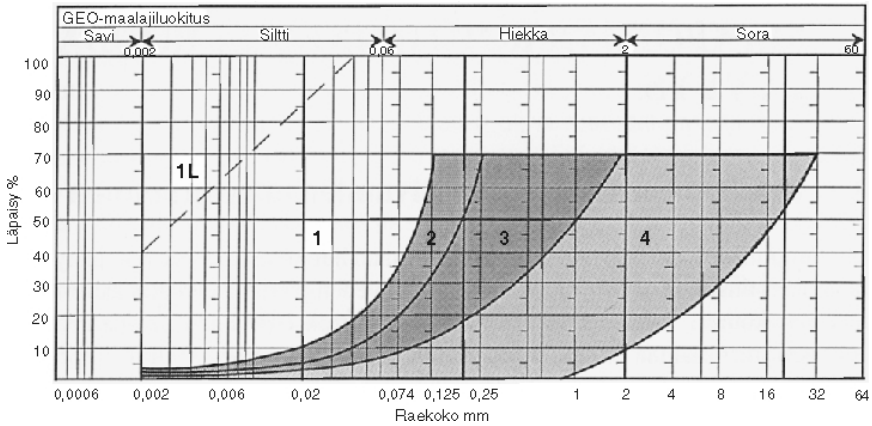
Tarvittava **louhinta** tehdään pohjarakennussuunnitelman ja kirjallisen louhintasuunnitelman mukaan siten, ettei louhinnasta aiheudu vahinkoja eikä tarpeetonta kallion rikkoutumista tai liikalouhintaa. Louhinta- ja räjäytystöissä noudatetaan Valtioneuvoston päätöstä räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista (410/86) [26].

Ennen louhintaa on tehtävä ympäristön katselutarkastukset tarvittavassa laajuudessa. Tärinälle arkojen rakenteiden ja herkkien laitteiden lähellä louhittaessa on yleensä tehtävä tärinämittauksia louhinnan aikana.

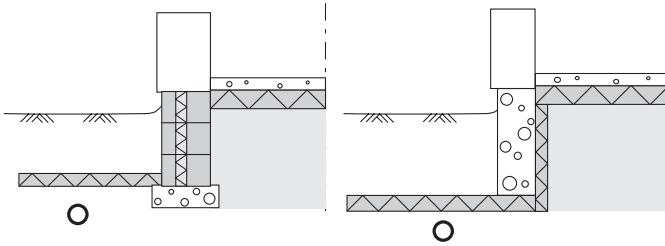
Louhinnan yhteydessä on varmistettava muun muassa, että anturoiden pohjien kaltevuus on enintään 15 astetta, että rakennusten alle ei jää vettä kerääviä syvennyksiä ja että kallio perustuksen alla on riittävän ehjää ja tasalaatuista kuormien siirtämiseksi kalliolle. Toisinaan on-



Kuva 6. Maanvaraisperustuksen kaivannon kaivutyöhyökkeet [32].



Kuva 7. Maalajien routivuuden määritys rakeisuuden perusteella. Maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on alueella 1, ovat routivia. Maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on alueella 2, 3 tai 4, ovat routimattomia, ellei käyrän alapää pääty vasemmanpuoleisen rajakäyrän yläpuolelle. Maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on alueella 1L, ovat lievästi routivia [24].



Kuva 8. Lämpöteknisen toiminnan kannalta suositeltavat routaeristyksen sijoitukset perusmuurin yhteydessä [24].

gelmia on aiheutunut huolimattomasta tontin rajalle rakentamisesta [30].

Täytöt ovat maarakenteita, jotka tehdään pohjarakennussuunnitelman mukaan siinä esitettyistä maalaista kerroksittain tiivistäen. Suunnitelmassa esitetyn tiivistämisvaatimuksen toteutuminen tarkistetaan riittävin mittauksin työn aikana. Peruskaivannon pohjasta poistettujen kiven jättämät kuopatkin on täytettävä soralla ja tiivistettävä. Tasointu kaivinkoneen kauhalla ei riitä. Perustaminen muun täytön kuin suunnitelmallisesti tehdyn täytön varaan ei ole ilman erityistä selvitystä sallittua.

Suunnitelman mukaisen tiivyyden saavuttaminen ensimmäisessä täyttökerroksessa lähellä pohjavedenpintaa saattaa olla vaikeata, jos pohjamaa on hienorakeista ja häiriintymisherkkää. Alimmassa (ohuessa) karkearakeisessa täyttökerroksessa saattaa tällöin olla aiheutta tyytyä alhaisempaan tiiviyssasteeseen edellyttäen, että ti-

viysvaatimus muissa kerroksissa saavutetaan. Täyttöjen rakentamisesta on annettu tarkempia ohjeita Talonrakennuksen maotöiden työselityksessä [22].

3.2.7 Routasuojaus

Routivalla maapohjalla (kuva 7) on maanvaraiset perustukset ja muut roudan aiheuttamille liikkeille alttiit rakenteet perustettava *routimattomaan syvyyteen*. Lämpimien rakennusten yhteydessä routimaton perustussyvyys riippuu paikkakunnan pakkasmäärän lisäksi maata vasten olevien tilojen lämpötilasta ja alapohjan lämmöneristyksestä tai ryömintätilan lämpötilasta sekä perustusten rakenteesta.

Jos käytetään *routasuojauksia* (kuva 8), voidaan perustamistaso suunnitella routimattoman syvyyden yläpuolelle. Routasuojausta suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota erityisesti rakennuksen nurkkien ja ulkonevien kylmien osi-

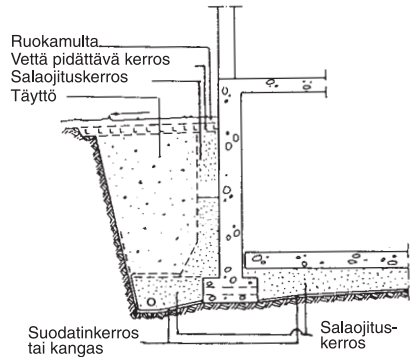
en eristämiseen. Salaojien tarkastuskaivoissa ja -putkissa tulisi näillä alueilla käyttää lämpöeristettyä kantta. Yksityiskohtaisia ohjeita routimattoman perustamissyvyyden määrittämisestä ja routasuojauksen suunnittelusta on esitetty julkaisussa Talonrakennuksen routasuojausohjeet [24].

Routimattomalla pohjamaalla maanvaraisten perustusten perustamissyvyys määräytyy rakennuspohjan geoteknisen kantavuuden mukaan. Rakennuspohja katsotaan routimattomaksi, jos maakerrokset roudan tunkeutumissyvyyteen saakka ovat routimattomia. Lumen pienentävää vaikutusta routasyvyyteen ei yleensä voida ottaa huomioon rakennusten perustussyvyyttä määrittäessä.

Routasuojauksen toiminnan varmistamiseksi rakennuspohjan kuivatuksen on oltava tehokas. Perusmuuria ympäröivän täytön tulee yleensä olla routimatonta vähintään 0,5 metrin etäisyydelle rakenteen pinnasta. Rakennuksen alla oleva routimaton täyttö (salaajituskerros tai massanvaihtosora) voidaan laskea mukaan perustussyvyyteen, jos kyseinen kerros säilyy pysyvästi routimattomana.

3.2.8 Kuivanapito

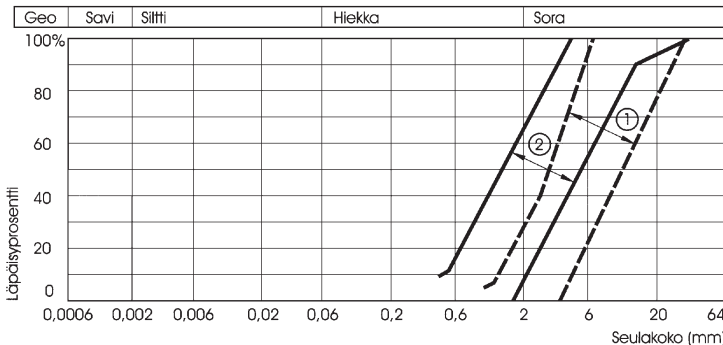
Kaivannon työnaikainen kuivanapito tulee toteuttaa siten, ettei maapohja perustettavien rakenteiden kohdalla löyhdy eikä häiriinny. Löyhymistä voidaan estää esimerkiksi järjestämällä kuivanapito perustusten ulkopuolelle sijoitetuista, suodattimella varustetuista pumppukuopista, joihin vesi johdetaan pohjan kallistusten ja urien avulla. Usein on myös edullista tehdä rakennuspohjan pysyvä salaajitus toimivaksi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen



Kuva 9. Esimerkki rakennuspohjan kuivatusjärjestelmästä [32].

loppukaivua. Erityisen häiriintymisherkissä tapauksissa on tarpeen alentaa pohjaveden pintaa ennen kaivua. Pohjavedenpinnan mahdollisen alenemisen vaikutukset rakennuspaikan ympäristössä tulee selvittää ja haittavaikutusten estämiseksi tulee suunnitella tarvittavat toimenpiteet.

Rakennuspohja on *kuivatettava pysyvästi* siten, ettei rakennuksen tiloihin tai alle keräydy vettä eikä alapohja- tai muihin vastaaviin rakenteisiin synny kosteusvaurioita. Rakennuspohja pidetään kuivana johtamalla vesi pohjan kallistusten (vähintään 1:100) ja salaajituskerroksen sekä tarvittaessa perusmuurin tai sokkelin läpi 1, 5...3 metrin välein asennettujen putkien välityksellä salaajiin (kuva 9). Edullisissa olosuh-



Kuva 10. Salaajituskerroksen rakeisuusalue julkaisun [23] mukaan. Rakeisuuskäyrän tulee kulkea alueella 1, jos pohjavedenpintaa alennetaan tai sivulta virtaa runsaasti vettä täyttökerrokseen. Alle 1 mm:n rakeita saa tällöin olla korkeintaan 5 %. Alue 2 on normaalitapauksissa pohjavedenpinnan yläpuolella käytettävän salaajitusmateriaalin rakeisuusalue, jolloin 10 %:n läpäisy on 0,5...2,0 mm ja 90 %:n läpäisy 3...12 mm.

teissa pelkät salaojituskerroksetkin saattavat riittää. Salaojat sijoitetaan vähintään 100 mm:n päähän perusmuurin anturan ulkoreunasta tai pilari-palkkiperustuksissa sokkelipalkin ulkopinnan muodostamasta pystylinjasta. Perusmuurin ulkopuolisten salaojien minimikaltevuus on yleensä 0,5 %. Pientaloissa salaojaputkien pienin suositeltu koko on 80 mm. Muissa talonrakennuskohteissa putkikoko on yleensä vähintään 100 mm. Salaojien vesijuoksun tulee olla yleensä vähintään 0,3 m lattiatasoa alempana. Lähellä maanpintaa olevat salaojat on lämpöeristettävä, mikäli niissä virtaa vettä pakkaskautena. Kuivatusjärjestelmän toimivuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jos rakennuksen sokkeli on matala.

Hyvän rakennustavan mukaan maanvaraisen lattian alla on aina vähintään 200 mm:n kerros kapillaarisen kosteuden nousun katkaisevaa salaojasoraa. Pienintä suositeltua kerrospaksuutta on syytä käyttää vain erittäin edullisissa kuivatusolosuhteissa pohjavedenpinnan yläpuolella. Salaojakerroksessa usein käytetty murske ei aina täytä kuvan 10 rakeisuusvaatimusta, koska siinä saattaa olla liian paljon hienorakeista materiaalia. Pohjamaan ja salaojituskerroksen välissä tarvitaan usein suodatinkerros tai -kangas, jos pohjamaa sisältää merkittävästi silttiä tai hienoa hiekkaa. Pehmeäpohjaisella rakennuspaikalla salaojien laskusuunnat tulisi suunnitella siten, että maapohjan painuessa salaojan kaltevuus kasvaa. Erittäin pehmeillä rakennuspaikoilla salaojien korkeustason ja kaltevuuden haitallisia muutoksia voidaan estää ripustamalla salaojat kantaviin rakenteisiin.

Salaojien kunnossapidon kannalta on tärkeää, että järjestelmässä on riittävästi tarkastuskaivoja ja -putkia huoltotoimenpiteitä varten. Jos salaojitus alentaa pysyvästi pohjavedenpintaa, niin sen vaikutukset ympäristöön tulee ottaa huomioon. Jos salaojien toimintaedellytyksiä ei ole, tulee valita sellainen rakenneratkaisu, jossa salaojia ei tarvita.

Rakennuspaikan salaojituksen suunnittelu ja rakentaminen on esitetty yksityiskohtaisemmin julkaisussa Rakennusten ja tonttialueiden kuivatus [23].

Tonttialueelle kerääntyvät pintavedet johdetaan yleensä sopivia pinnan kaltevuuksia ja kouruja käyttäen rakennuksesta pois päin. Kosteilla ja alavilla paikoilla tarvitaan usein myös tonttialueen salaojitusta. Keskusta-alueilla on asfaltoituille pihalle rakennettava sadevesiviemäröinti. Kuivatusvesien johtaminen sadevesiviemäriin, ojiin tai vesistöihin on suunniteltava. Vesiä ei saa johtaa naapurien tonttialueille. Pohjavedenpinnan alenemista voidaan torjua imeyttämällä salaojavedet maahan kuivatettavan alueen ulkopuolella, ellei tästä aiheudu haittaa. Imeytystä ei voi tehdä savimaan eikä pohjavedenpinnan alapuolelle.

3.2.9 Ympäristön suojaus

Pohjarakennustyö ei saa vaurioittaa ympäristön rakennuksia eikä aiheuttaa haitallisia muutoksia rakennuspaikan ympäristön pohjavedessä tai maa- ja kallioperässä. Ympäristövaurioita voivat aiheuttaa esimerkiksi pohjavedenpinnan aleneminen, tärinä, paalutustyö, kaivantojen myöntäminen tai poistaminen, ankkureiden poraaminen, syvätiivistys, injektointi, massanvaihto ja routiminen. Pohjarakennussuunnitelma on laadittava siten, että vauriot estetään tai ainakin minimoidaan. Mikäli arvioidaan, että ympäristöhaittojen riski on olemassa, niin työtä edeltävien katselmusten lisäksi ympäristövaikutuksia on seurattava rakennustyön aikana.

3.2.10 Pohjarakennustöiden toteutus

Yleistä. Pohjarakennustyö on tehtävä ennakoitua laaditun suunnitelman mukaisesti siten, ettei työssä missään vaiheessa aiheuta vaaraa henkilöille eikä vahinkoa tai kohtuutonta haittaa ympäristön rakenteille. Jos työn aikana todetaan, että pohjasuhteet tai muut suunnitelman perusteena olleet olosuhteet poikkeavat suunnitelman tiedoista, niin pohjarakennussuunnitelmaa on vastaavasti tarkistettava.

Jos maaperässä on odotettavissa liikkeitä, niin ennen pohjarakennustyön aloittamista on tehtävä riittävän laajat ja yksityiskohtaiset ympäristön rakenteiden katselmukselut. Maapohjan ja rakenteiden sekä pohjaveden liikkeiden seuraamista varten on tarvittaessa rakennettava tarkkailuverkosto.

Töiden valvonta. Pohjarakennustöistä vastaavan työnjohtajan tulee erikseen säädetyjen pätevyysvaatimusten lisäksi omata runsaasti kokemusta vastaavanlaisista pohjarakennustöistä.

Erittäin vaativissa kohteissa geoteknisen suunnittelijan tulee seurata vaativimpien pohjarakennustyövaiheiden toteutusta ja tarkastaa tarkkailumittaukselukset ja toteutusprotokollat. Vaativissa kohteissa geoteknisen suunnittelijan tulee vähintään tarkastaa toteutusprotokollat. Yksityiskohtaisempia ohjeita pohjarakennustöiden valvonnasta on annettu julkaisussa Pohjarakennustöiden valvontaohjeet, PRV-84 [25].

Toteutusprotokollat. Pohjarakennustyön laadun selvittämiseksi on työn aikana pidettävä yksityiskohtaisia protokollia asiaankuuluvine mitauksilla ja havaintotuloksineen. Toteutusprotokollat pidetään erityisesti paalutuksista, kaivannon rakentamisesta, pohjanvahvistustöistä ja täyttöjen tiivistystarkkailusta. Protokollien laajuus tulee määrittellä pohjarakennussuunnitelmassa tai sopia viimeistään ennen kyseisen työvaiheen aloittamista. Mikäli työn toteutuksesta ei vaadita toteutusprotokollaa, on työn hyväksyminen kirjattava katselmuksen- tai työmaakokousprotokollaan tai työmaapäiväkirjaan. Toteutusprotokollat on toimitettava välittömästi

geotekniselle suunnittelijalle ja rakentajan tulee säilyttää ne takuuajan loppumiseen saakka [1].

Rakenteen tarkkailu. Rakenteen käyttäytymistä on tarkkailtava ennen käyttöönottoa ja käytön aikanaikin, jos on käytetty uusia pohjarakennusmenetelmiä tai töiden yhteydessä on sattunut yllätyksiä. Mikäli painumien ei voida katsoa päättyneen rakenteen valmistuessa, tulee painumatarkkailua jatkaa niin kauan, kunnes on saatu riittävä varmuus siitä, että painumat pysyvät sallituissa rajoissa. Tarkkailumittausten suunnittelu ja tulosten arviointi vaatii geoteknistä asiantuntemusta ja kokemusta käytettävistä mittausmenetelmistä.

Talvirakentaminen. Mikäli rakentaminen tapahtuu talvella, on maan jäätyneen ja routimisen haitalliset vaikutukset pohjamaahan, täyttömateriaaleihin ja erityisesti valmiisiin rakenteisiin estettävä. Perustuksia ei saa tehdä jäätyneen maan varaan.

Talvikautena peruskaivanto tulee kaivaa vasta välittömästi ennen perustusten tekoa. Peruskaivannon pohjaa ei saa päästää jäätyneeseen. Pölyjen routanousu voidaan estää routasuojauksella. Tarvittaessa lyöntipaalut on jälkipaalutettava roudan sulamisen jälkeen.

Tiivistäviin täyttöihin ei saa käyttää jäässä olevaa materiaalia. Täyttö ei saa tiivistämisen aikanaakaan jäätyä eikä siihen saa sekoitettua lunta. Täyttömateriaalin tulee olla mahdollisimman kuivaa.

Lumi, jää ja jäätyneet maa on tarkoin poistettava perustusten alta ennen maanvaraisen perustusten betonointia. Maan jäätyminen jo tehtyjen perustusten allakin on estettävä, ellei voida osoittaa, ettei siitä ole haittaa. Maan routiminen tukiseinien takana tulee myös estää lämmöneristys- ja lämmitysjärjestelyin tai muulla sopivalla tavalla.

Työnaikaisesta routasuojauksesta on annettu yksityiskohtaiset ohjeet julkaisussa Talonrakennuksen routasuojausohjeet [24].

4 Pohjarakennus-suunnitelman esittäminen

Pohjarakennussuunnitelma esitetään rakennusselostuksena (tai sen osana) sekä pohjarakennus- ja rakennepiirustuksina. Suunnitelma sisältää myös materiaalivaatimukset ja työn toteutusohjeet (työselitykset, työvaiheet ja työjärjestys) sekä tarpeelliset tarkkailu- ja valvontaohjeet. Suunnitelma-asiakirjat sisältävät tarvittaessa myös mitoitukselmat ja yhtenevyyden lähtöolettamuksista, lähtötiedoista sekä varmuus- ja käyttökelpoisuustarkasteluista [1, 13]. Pohjarakenteiden suunnittelua ja toteutusta kos-

kevia laatuvaatimuksia on koottu julkaisuun MaaRYL 2000 [31].

KIRJALLISUUSLUETTELO

- [1] Pohjarakennusohjeet, RIL 121-1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- [2] Kairausopas I. Paino- ja heijarikairaus. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1980.
- [3] Kairausopas II. Siipikairaus. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1972.
- [4] Kairausopas III. Näytteenotto. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1972.
- [5] Kairausopas IV. Pohjaveden pinnan mittaaminen. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1987.
- [6] Kairausopas V. Porakonekairaus. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1986.
- [7] Radonin torjuminen pien- ja rivitaloissa. Maanvastaisten rakenteiden radontekninen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Alueiden käytön osasto, Opas 2, 1993.
- [8] Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet TPO-83. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y., Helsinki, 1983.
- [9] Geosuunnittelun tehtäväluettelo. GEO-95. LVI 03-10243, RT 10-10580, KH X4-00208, Rakennustieto Oy, 1995.
- [10] Rakenteiden kuormitusohjeet, RIL 144-1997, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- [11] SFS-ENV 1997-1:1994 Eurocode 7 Geotekninen suunnittelu-Osa 1: Yleiset säännöt. Ympäristöministeriö.
- [12] NAD(FIN) SFS-ENV 1997-1:1994. Kansallinen soveltamisasiakirja. Ympäristöministeriö.
- [13] Geotekninen suunnittelu. Euronormi, RIL 207-1998. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- [14] Pohjarakenteet, RIL 166. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki, 1986.
- [15] Geomekaniikka I, RIL 157-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki, 1985.
- [16] Geomekaniikka II, RIL 157-2. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki, 1990.
- [17] Lyöntipaalutusohjeet, LPO-87. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. ja Rakentajan Kustannus Oy, Helsinki, 1987.
- [18] Suurpaalutusohjeet, RIL 212-1995, SPO-95. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. - Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

- [19] Maahan ja veteen asennettavat kesto-
muoviputket. Asennusohjeet, RIL
77-1984, Suomen Rakennusinsinöörien
Liitto r.y.
- [20] Rakennuskaivanto-ohje, RIL 181-1989,
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL
r.y.
- [21] Putkikaivanto-ohje, RIL 194-1992. Suo-
men Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- [22] Talonrakennuksen maatoiden työselitys,
RIL 132-1987. Suomen Rakennusinsinöö-
rien Liitto RIL r.y.
- [23] Rakennusten ja tonttialueiden kuivatus,
RIL 126-1987. Suomen Rakennusinsinöö-
rien Liitto RIL r.y.
- [24] Talonrakennuksen routasuojausohjeet.
VTT Yhdyskuntatekniikka ja Rakennus-
tieto Oy, Helsinki, 1997.
- [25] Pohjarakennustöiden valvontaohjeet,
PRV-84. Suomen Geoteknillinen Yhdistys
r.y. ja Rakentajain Kustannus Oy, Helsin-
ki, 1984.
- [26] Valtioneuvoston päätös louhinta- ja räjäy-
tystyön järjestysohjeista (410/86).
- [27] Pohjatutkimusmerkinnät. Symbols for
ground (site) investigations. SGY 201,
Rakennustieto Oy, Syyskuu 1993.
- [28] Pohjarakennus, RIL-95. Suomen Raken-
nusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki
1974.
- [29] Matalaan asennettujen putkijohtojen rou-
tasuojaus ja lämmöneristäminen. VTT,
Geotekniikan laboratorio, Tiedotteita 113,
1982.
- [30] Niiranen, T., Rakentamisen virheet. Hel-
singin kaupunki, Rakennusvalvontaviras-
to, Julkaisu 4, 1994.
- [31] MaaRYL 2000. Rakennustöiden yleiset
laatuvaatimukset 2000. Talonrakennuksen
maatytöt. RT 14-10636. Rakennustietosää-
tiö, Rakennustieto Oy, Helsinki 1997.
- [32] Rantamäki, M. & Tamminrinne, M. Pohja-
rakennus 465. Otapaino, Espoo 1996.