

Valtteri Mäkilä

# Talonrakennuksen pohjarakenteiden rakenne- suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

20.9.2018

Tekijä Otsikko	Valtteri Mäkilä Talonrakennuksen pohjarakenteiden rakennesuunnittelu
Sivumäärä Aika	107 sivua + 0 liitettä 20.9.2018
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tapani Järvenpää Rakennetekniikka tekninen johtaja Juha Rantanen Geotekniikka osastopäällikkö Mikko Suoranta
<p>Opinnäytetyö käsittelee alapohjarakenteiden rakennesuunnittelua. Opinnäytetyö kokoaa alapohjarakenteisiin liittyvät rakennesuunnittelijaa koskevat rakenneasiat mahdollisimman tiiviiksi tietopaketiiksi ja tuo esille suunnittelua helpottavia lähteitä. Opinnäytetyö koottiin alan kirjallisuudesta, hyödyntämällä internetin rakennusalaan liittyviä tietolähteitä sekä eri rakennusyritysten tuotteiden ominaisuuksia ja niihin liittyviä ohjeistuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä tuodaan esille alapohjarakenteiden suunnittelussa huomioitavia määräyksiä, ohjeita ja alan kirjallisuutta. Opinnäytetyössä käsitellään perusasioita geotekniikasta, pohjatutkimusta ja siihen liittyviä suunnitelmia, merkintätapoja sekä pohjatutkimuslausuntoa. Opinnäytetyö käsittelee rakennesuunnitelmia, rakennesuunnittelussa käytettyjä merkintöjä, suunnitteluun vaikuttavia kuormituksia, perustusrakenteiden säilyvyysuunnittelua, perustamistapoja sekä alapohjarakenteita ja niihin liittyvää rakennesuunnittelua. Työssä tuodaan esille, miten maanpaine tulee huomioida rakenteita suunniteltaessa sekä maanpainerakenteita ja niihin liittyvää rakennesuunnittelua. Rakennusfysikaalisesta suunnittelusta tuodaan esille pääasiat alapohjarakenteiden lämmöneristämisestä, routasuojauksesta, alapohjan tiiveydestä ja radonista sekä kosteudenhallinnan suunnittelusta huomioiden eri alapohjarakennetekniikat.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on auttaa etenkin nuorempia rakennesuunnittelijoita eri alapohjarakenne asioiden ymmärtämisessä sekä niihin liittyvän pääasiallisten tietolähteiden löytämisessä. Opinnäytetyö voi olla yksi apuväline tiedon löytämisessä suuresta rakennusalan tietomäärästä.</p>	
Avainsanat	pohjarakennesuunnittelu, perustaminen, maanpaine, alapohjarakenne

Author Title	Valtteri Mäkilä Design of Bottom Structures for House Construction
Number of Pages Date	107 pages + 0 appendices 20.9.2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer Juha Rantanen, Technical Director of Structural Engineering Mikko Suoranta, Head of Department of Geotechnical Engineering
<p>The thesis deals with the structural design of bottom structures for house construction providing a compact information package as well as sources for planning. The thesis is compiled from literature in the field, utilizing information sources related to the construction industry in the Internet, and the features of the various construction companies and related instructions.</p> <p>The thesis presents the regulations, guidelines and literature in the design of bottom structures for house construction. The thesis deals with the basics of geotechnics, bottom research and related plans, markup methods and bottom research. The thesis deals with structural design, the labeling used in structural design, loads affecting design, service life design of the basic structures, methods of founding, basic structure and related structural design. The thesis focuses on how the pressure on the ground should be considered when designing structures, as well as on the exterior structures and the related structural design. As to the structural physics design the study focuses on the thermal insulation, routing, bottom ditch and radon design and the design of moisture management based on the base structure, considering the various base floor construction solutions.</p> <p>The aim of the thesis is to help junior structural designers, in particular, to understand the various bottom structures and to find the main relevant sources of information.</p>	
Keywords	Bottom structure design, foundation, ground pressure, base floor structure

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Rajaukset	2
2	Yleistä	3
2.1	Pohjarakennuskäsite	3
2.2	Pohjarakennesuunnittelun kehittyminen	3
2.3	Pohjarakennussuunnittelussa huomioitavat määräykset ja ohjeet	4
2.3.1	Laki ja rakennusvalvonta	4
2.3.2	Eurokoodit ja kansalliset liitteet	5
2.3.3	Muut pohjarakennusohjeet	5
2.3.4	Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset	6
2.3.5	Rakennuskohteiden vaativuusluokitus ja suunnittelijan pätevyys	7
2.3.6	Suunnitelmissa käytettäviä rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö	7
2.4	Talonrakennuksen pohjarakentamisen kustannukset	9
3	Pohjatutkimus	12
3.1	Pohjatutkimuksen selvitystyö	12
3.2	Pohjatutkimusmenetelmät	13
3.3	Rakennesuunnittelijalle perustietoa geotekniikasta	14
3.3.1	Maalajit ja niiden ominaisuuksien jaottelu	14
3.3.2	Pohjavesi ja sen aiheuttamat rasitukset rakenteille	15
3.3.3	Maa-aineksen routivuus	18
3.3.4	Maan leikkauslujuus	23
3.3.5	Maan kokoonpuristuvuus ja painuminen	26
3.3.6	Maapohjan kantavuus ja vakavuus	27
3.3.7	Maapohjan vahvistaminen	31
3.3.8	Rakentamiseen käytettävä kiviaines	31
3.4	Pohjatutkimusmerkinnät	32
3.5	Pohjatutkimuslausunto	34
4	Rakennesuunnitelmat ja eri perustusratkaisujen suunnittelu	35
4.1	Rakennepiirustukset, yleiset ohjeet ja merkinnät	35
4.2	Suunnitteluun vaikuttavat kuormitukset ja rajatilamitoitus	41
4.3	Perustusrakenteiden säilyvyysuunnittelu	43

4.4	Perustamistavat ja niiden suunnittelu	48
4.4.1	Maanvaraiset perustusrakenteet	50
4.4.2	Kalliolle perustaminen	53
4.4.3	Paaluperustukset	54
4.5	Alapohjan rakenne	59
4.5.1	Maanvarainen alapohja	59
4.5.2	Kantava alapohja	60
4.6	Tartunnat perustuksista	61
5	Maanpaineen huomioiminen rakennesuunnittelussa	64
5.1	Maanpaineen määrittäminen	64
5.1.1	Lepopaine	64
5.1.2	Aktiivipaine	69
5.1.3	Passiivipaine	70
5.2	Tiivistämisen vaikutus maanpaineeseen	70
5.3	Maanpainerakenteet	71
5.3.1	Maanpaineeseinä	71
5.3.2	Tukimuuri	72
5.3.3	Tukimuurin vahvistaminen tukiseinillä	74
5.3.4	Kaivannot ja niiden tukiseinät	75
5.4	Maanpaineen vähentäminen rakenteista	76
6	Alapohjarakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu	77
6.1	Rakennusfysikaalinen suunnittelu yleisesti	77
6.2	Alapohjarakenteiden lämpötekniikka suunnittelu	80
6.2.1	Lämmöneristyksen suunnittelu	81
6.2.2	Routasuojauksen suunnittelu	83
6.3	Alapohjarakenteiden kosteudenhallinnan suunnittelu	86
6.3.1	Rakennusalueen kuivatus ja rakennuksen korkeusasema	89
6.3.2	Rakennuksen maapohjan salaojitus	90
6.3.3	Maanvastainen alapohjarakenne	91
6.3.4	Ryömintätilainen alapohja	92
6.3.5	Kellarin seinä ja sokkeli	93
6.3.6	Vedenpaine-eristys	95
6.4	Radon ja alapohjan tiiveys	96
6.4.1	Rakenteiden tiiveyden huomioiminen eri perustamistavoissa	97
6.4.2	Rakenneliittymien tiivistäminen ja betonirakenteen tiiveys	99
6.4.3	Radonin poistaminen alapohjasta tuuletusjärjestelmän avulla	101

7 Tulokset	103
8 Yhteenveto	104
Lähteet	105

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on tuoda alapohjarakenteisiin liittyvät rakennesuunnittelijaa koskevat rakenneasiat mahdollisimman tiiviinä tietopakettina, tuoden esille tärkeimmät rakenneasiat ja suunnittelua helpottavat pääasialliset lähteet. Opinnäytetyön avulla pyritään nopeuttamaan suunnittelun kulkua ja oikean tiedon löytämistä. Opinnäytetyössä tuodaan esille eri pohjarakenneosien suunnitteluun liittyviä perusasioita ja lähteitä. Opinnäytetyö on yksi apuväline oikean tiedon löytämiseksi suuresta rakennusalan tietomäärästä.

Opinnäytetyön yksi tavoitteista on pyrkiä siihen, että suunnittelija osaisi opinnäytetyön luettuaan huomioida paremmin kokonaisuutta yksittäistä suunnittelutehtävää tehdessään. Esimerkiksi rakenneleikkauksen tekeminen rakennuksen ulkoseinältä alapohjan tasolta vaatii monen eri yksittäisen asian ymmärtämistä ja hyvää kokonaisuuden hallintaa. Opinnäytetyössä käydään lisäksi läpi, miten eri perustamisolosuhteet vaikuttavat pohjarakennesuunnitteluun. Tarkat rakennesuunnitelmat helpottavat työmaan realistista aikataulutusta, hyvän rakentamistavan toteuttamista, parantavat työturvallisuutta, taloudellisuutta ja kosteuden hallintaan. Rakennuksen loppukäyttäjän tulee saada asua rakennuksessa, joka ei aiheuta terveyshaittaa, odottamattomia kustannuksia ja jossa on miellyttävä asua. Rakennesuunnittelijalla on tässä kaikessa tärkeä merkitys suunnitteluratkaisuillaan.

Tässä opinnäytetyössä tavoitellaan, että suunnittelija ymmärtäisi paremmin seuraavia alapohjarakenteiden aihealueita tämän opinnäytetyön luettuaan: rakentamiseen liittyvät määräykset ja ohjeet, käytettyjen rakennustuotteiden hyväksynät, ymmärtäisi pohjaolosuhteiden vaikutuksen rakennuskustannuksiin, pohjatutkimuksessa olevat asiat ja merkinnät, perusasiat geotekniikasta, alapohjarakenteiden rakennesuunnitelmissa näytettävät merkinnät, eri perustamistapoihin ja alapohjarakenteisiin liittyvät perusasiat, maanpaineen huomioimisen suunnittelussa sekä alapohjan pysty- ja vaakarakenteiden rakennefysiikan perusajatukset.

## 1.1 Rajaukset

Opinnäytetyössä käydään tarkemmin läpi ainoastaan rakennesuunnittelijaa koskevia talonrakennuksen alapohjarakenteiden asioita. Esimerkkikuvat ja ajatukset ovat uudisrakennuksissa käytettyjä ja ne ovat ajantasaisesta rakennesuunnittelun kirjallisuudesta. Työ antaa rakennesuunnittelijalle ainoastaan peruslähtökohdat suunnitteluun. Rakennukset ja olosuhteet ovat hyvin erilaisia, joten suunnittelija joutuu perehtymään asioihin eri syvyydeltä jo pelkästään eri painotteisten riskien vuoksi. Tästäkin johtuen opinnäytetyön kappaleissa ja viitteissä kerrotaan lähteitä, joiden kautta lukija voi perehtyä asiaan tarkemmin. Tässä työssä tuodaan esille mitä eri asioita suunnittelijan täytyy suunnittelussa huomioida, mutta lopulliset suunnitteluratkaisut ovat monien eri asioiden summia, joka täytyy huomioida suunnitteluratkaisua tarkasteltaessa. Opinnäytetyössä ei ole käsitelty paloa. Betonirakenteiden rakenteellista palomitoitusta käsitellään eurokoodissa osassa EN1992-1-2. RIL 202-2011/BY 61-2011 on myös käsitelty betonirakenteiden palomitoitusta yksinkertaistaen.



## 2 Yleistä

Pohjarakentamista ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki. Ympäristöministeriön asetuksessa (465/2014) pohjarakenteiden suunnittelulta vaaditaan, että maa ja kallio on sovitettava pohjarakenteiden kanssa siten, että myös pohjarakenteiden yläpuoliset rakenteet toimivat kuten ne on suunniteltu ja rakennus tai rakenne ei hajoa tai tule käyttökelvottomaksi [1]. Rakennuksen pohjarakenteet on suunniteltava siten, että rakennuksesta tulevat kuormat välittyvät maaperään koko sen käyttöiän ilman, että tapahtuisi sortumista tai muuta haitallista muodonmuutosta ja, että rakennus säilyy terveellisenä ja turvallisenä sisäilmaltaan, vesihuolloltaan, valaistukseltaan ja kosteus- ja lämpöteknisiltä toiminnoiltaan. Lisäksi suunnittelussa täytyy huomioida jatkuvan sortumisen estäminen eli että rakennus ei saa yllättävästä kuormasta tai onnettomuustilanteesta johtuen sortua haitallisen suurta määrää verraten aiheutuneeseen kuormitukseen.

### 2.1 Pohjarakennuskäsite

Suomen Rakentamismääräyskokoelman pohjarakenteiden lujuutta ja vakautta 2016 koskevassa ohjeessa määritellään pohjarakenteet joko pysyviksi tai työnaikaisiksi. Pysyviä pohjarakenteita ovat rakennuksen tai yleensä rakenteiden perustukset, maata vasten olevat seinä- ja lattiarakenteet, kuivanapitorakenteet, routasuojaukset sekä muut suojausrakenteet, massanvaihdot, maavallit ja luiskat. Työnaikaisiksi pohjarakenteiksi katsotaan kaivantojen tukirakenteet, pohjavedenalennusrakenteet sekä muut työnaikaiset suojausrakenteet.

### 2.2 Pohjarakennesuunnittelun kehittyminen

Asumisen laadun vaatimukset ovat jatkuvasti kasvaneet ja se on osaltaan vaikuttanut vaatimus tason kasvuun myös suunnittelussa ja rakentamisessa. Myös pohjarakentaminen on muuttunut jatkuvasti vaativammaksi. Puurakenteisten talojen lisäksi on tullut ajan kuluessa tiili- ja betonirakenteisia taloja. Kivijalkaperustusten päälle tehdyt puutalot ovat kestäneet paremmin painumista kuin myöhemmin tulleet tiili- ja betonitalot, jotka tarvitsevat massiivisempia perustuksia. Kaupungistuminen on aiheuttanut sen, että rakennetaan yhä korkeampia rakennuksia sekä rakennukset joudutaan sijoittamaan yhä huonommalle maaperälle. Pohjarakentamisen välineet ja rakennetekniikka

on kehittyemisellään mahdollistanut huonolle maaperälle rakentamisen. Yritysten kilpailu markkinoilla ja sitä kautta tuotteiden kehitys on vienyt eteenpäin esimerkiksi eri paalujen, niiden varusteiden ja paalutuskoneiden tekniikkaa.

### 2.3 Pohjarakennussuunnittelussa huomioitavat määräykset ja ohjeet

Pohjarakentamista ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki, jota valvotaan jokaisen kunnan rakennusvalvonnan toimesta. Suunnittelijoiden tulee tuntea suunnittelua koskevat määräykset ja ohjeet. Rakennuskohteelle määritetään aina vaativuusluokitus ja tätä kautta katsotaan myös kriteerit kohteen suunnittelijoiden ja työnjohdon tarvittavalle pätevyydelle. Suunnittelijoiden tulee tuntea rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö ja olla tietoisia eri rakennustuotteiden ja -materiaalien hintavaikutuksista pohjarakentamisen kustannuksiin.

#### 2.3.1 Laki ja rakennusvalvonta

Rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset, rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta määrittellään maankäyttö ja rakennuslaissa (132/1999, MRL). Teknisiin vaatimuksiin katsotaan kuuluvaksi rakennuksen lujuus ja vakaus, paloturvallisuus, terveellisyys, käyttöturvallisuus, esteettömyys, meluntorjunta, ääniolosuhteet sekä energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelmaan on koottu tarkemmin rakentamiseen liittyvät säännökset ja ohjeistus. Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat perinteisesti uusien rakennuksien rakentamista, mutta pikku hiljalleen, kun määräyskokoelman osia uusitaan, asetuksiin merkitään, koskeeko se uutta, korjattavaa tai muutettavaa rakennusta. Perinteinen RakMk lakkasi olemasta 1.1.2018, jolloin uudet asetukset astuivat voimaan. Määräykset ovat pykälämuotoon kirjoitettuna asetuksina ja niitä täydentävät perustelumuiot.

Jokaisen kunnan rakennusvalvonnan tehtävänä on valvoa, että maankäyttö ja rakennuslakia noudatetaan. Rakennusvalvonta aloittaa työnsä luvanvaraisen rakennustyön aloituksesta ja työ päättyy loppukatselmukseen. Viranomainen päättää hyvän lopputuloksen kannalta ne olennaiset työvaiheet mitä valvotaan sekä valvonnan laajuuden. Rakennusvalvonta tarkistaa rakennushankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta vastaavien henkilöiden asiantuntemuksen ja ammattitaidon verraten hankkeen vaativuu-teen. Työmaalla tulee pitää rakennustyön tarkastusasiakirjaa. Aloituskokouksessa tai

rakennusluvassa on sovittu vastuulliset henkilöt, jotka tekevät eri työvaiheiden tarkastukset ja merkitsevät sen tarkastusasiakirjaan. Tarkastusasiakirja toimii koko rakennustyön kuvauksena ja se tulee loppukatselmuksen yhteydessä tarkastavalle viranomaiselle loppukatselmuspöytäkirjan liitteeksi luovutettavaan tarkastusasiakirjan yhteenvetoon.

### 2.3.2 Eurokoodit ja kansalliset liitteet

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodit sisältävät suunnitteluun liittyvien varmuuksien määrittämisperiaatteet, eri kuormitukset ja ne sisältävät eri rakennusmateriaaleille suunnitteluohjeet. Jokaisella maalla, jolla eurokoodit ovat käytössä, on omat kansalliset liitteet. Kansallisten liitteiden avulla voidaan soveltaa yhteistä standardia siten, että ne huomioivat paikalliset olosuhteet. Suomessa talonrakentamisen kansallisista liitteistä vastaa ympäristöministeriö. Hyvä apu eurokoodien hallintaan on eurocodes.fi sivusto, jolle on kasattu viimeisin tieto eurokoodeista ja josta saa apua koodeihin liittyvistä tulkinnoista sekä oppimateriaaleista [2].

Pohjarakenteiden suunnittelussa tarvittavat eurokoodit ovat: SFS-EN 1990 Eurokoodi Rakenteiden suunnitteluperusteet, SFS-EN 1991 Eurokoodi 1 Rakenteiden kuormat, SFS-EN 1992 Eurokoodi 2 Betonirakenteiden suunnittelu ja SFS-EN 1997 Eurokoodi 7 Geotekninen suunnittelu. Ympäristöministeriön sivuilta löytyy rakenteiden lujuuteen ja vakauteen liittyvät kansalliset liitteet, jotka on juuri uudistettu. Jokaiselle eurokoodin aihealueelle on koottu oma kansallinen liite, jossa on määritelty standardin osat, joissa kansallinen valinta on standardin mukaan mahdollista tehdä sekä se milloin kyseinen valinta on tehty. Rakennesuunnittelijan on välttämätöntä tuntea hyvin eurokoodit. Eurokoodi standardia käytettäessä tulee tarkistaa, että onko aihealueesta kansallista ohjetta. SKOL on jäsenyrityksineen tehnyt suunnittelutyötä nopeuttamaan eri rakenteille eurokoodiin pohjautuvia laskentaohjelmia, mutta niidenkin käyttö edellyttää eurokoodin, lujuusopin ja mekaniikan tuntemista.

### 2.3.3 Muut pohjarakennusohjeet

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry on julkaissut ja julkaisee rakentamiseen liittyvää ajantasaista ammattikirjallisuutta. RIL on julkaissut mm. eri aihealueista käsi- ja oppikirjoja sekä ohjeita ja normeja, joista on helpompi päästä eri suunnittelualueisiin ja

-ratkaisuihin käsiksi. Talonrakennuksen pohjarakenteiden suunnitteluun liittyviä ohjeita ja normeja on RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje, RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, RIL 132-2000 Talonrakennuksen maa- rakenteet, RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, RIL 201-2-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, RIL 201-4-2017 Rakenteiden vauri- onsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteessa, RIL 202-2011/BY 61-2011 Beto- nirakenteiden suunnitteluohje, RIL 207-2017 Geotekninen suunnittelu, RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen, RIL 254-2016 Paalutusohje PO-2016, RIL 261-2013 Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet ja RIL 263-2014 Kaivanto- ohje.

Muuta pohjarakennukseen liittyvää kirjallisuutta löytyy mm. eurocodes.fi sivuston kaut- ta. Sieltä aihealueesta riippuen on linkattu eri käsi- ja oppikirjoihin, sähköiseen materi- aaliin sekä mahdollisesti myös ohjelmiin. Yksi hyvä pohjarakenteisiin liittyvä linkattu oppimateriaali on mm. Andrew Bond and Andrew Harris, Decoding Eurocode 7. Jos on vähäistä kokemusta yleensä pohjarakentamisesta, pääsee aiheeseen helposti käsiksi lukemalla Raimo Jääskeläisen Pohjarakennuksen perusteet ja Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Rakennustieto.fi-sivustolta löytyy RT-kortisto, johon on kasattu tietoja liittyen rakennuttamiseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon sekä laatu järjestelmiin. Eri aihealueita käsittelevissä luvuissa on tuotu esille aihealueeseen liittyvää kirjallisuutta.

#### 2.3.4 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset

RYL eli rakentamisen yleiset laatuvaatimukset on koottu kirjalliseksi kuvaukseksi siitä mitä pidetään hyvän rakentamistavan mukaisena. RYL:ssä määritetään töiden lopputu- loksen teknillinen laatu sekä esitetään rakennustyössä esiin tulevat käsitteet ja nimityk- set kuvin ja tekstein. RYL:n merkitys on tärkeä rakentamisessa myös siten, että se määrittää hyvää rakennus- ja kiinteistöpitotapaa myös silloin kun osapuolet ovat loppu- tuloksen laadusta eri mieltä. Työn tilaajan tarvitsee kuitenkin viitata sopimusasiakirjois- sa RYL:n kohtaan saadakseen sen määräykset voimaan. Suunnittelijan tulee tehdä suunnitelmat siten, että hyvää rakentamistapaa pystytään noudattamaan. Suunnitteli- jan tulee tehdä suunnitelmat yleisesti hyväksytyjen ohjeiden ja määräysten mukaan. RYL:n julkaisut löytyvät rakennustieto.fi-osoitteen kautta.

Runkorakenteisiin liittyvät rakennustyöt sisältyvät osaan RunkoRYL 2010. Tässä käsi-kirjassa esitetään koko rakennushanke rakennusosittain. Talo-osista kuvataan perustukset, alapohjat, runko, julkisivut, ulkotasot, vesikatot, tilaelementit ja vielä erikseen materiaaliakohtaisesti eri työvaiheiden laatuvaatimukset. Talonrakentamiseen liittyvät maa-, pohja-, kalliorakenteiden, päällysteiden ja pintarakenteiden rakennustyöt sisältyvät osaan MaaRYL 2010.

### 2.3.5 Rakennuskohteiden vaativuusluokitus ja suunnittelijan pätevyys

Rakennusten vaativuusluokat on määritetty, jotta osataan sanoa, minkälaista osaamista kohteen suunnittelussa ja työnjohdossa tarvitaan. Rakennuksien vaativuusluokkien mukaan määräytyvät myös kriteerit sille, minkälaista koulutusta ja työkokemusta täytyy kohteen suunnittelijoilla ja työnjohtajilla olla. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on 1.6.2015 voimaan tullessa asetuksessa määritelty suunnittelualoittain suunnittelutehtävien vaativuusluokat, jotka on määritetty vähäiseksi, tavanomaiseksi, vaativaksi ja poikkeuksellisen vaativaksi. Samassa kohteessa voi olla myös eri vaativuusluokan suunnittelutehtäviä. Uudis- ja korjausrakentaminen on eritelty erikseen. Vaativuusluokan kriteerejä määritellään rakennesuunnitteluun, kantavien rakenteiden suunnitteluun, pohjarakenteiden suunnitteluun, ilmanvaihdon suunnitteluun, kiinteistön vesi- ja viemärlaitteiston suunnitteluun ja rakennusfysikaaliseen suunnitteluun ja kosteusvaurion korjaustyön suunnitteluun [3]. Suunnitteluvaatimukset rakentamiselle [3] ja suunnittelijoiden kelpoisuudelle [4] löytyvät ympäristöministeriön ohjeista.

### 2.3.6 Suunnitelmissa käytettäviä rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö

Suuressa osassa rakennustuotteita on täytynyt olla CE-merkintä vuodesta 2013 heinäkuusta alkaen. CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus vaaditaan rakennustuotteille, joille on julkaistu harmonisoitu tuotestandardi eli hEN, ja jonka siirtymäaika on alkanut tai tuotteelle on myönnetty eurooppalainen tekninen arviointi ETA. Rakennustuotteeksi katsotaan kaikki sellaiset tuotteet ja järjestelmät, jotka jäävät pysyväksi osaksi rakennusta, kuten esimerkiksi betonielementit, kiviaines ja rakennesahatavara. CE-merkintään on annettu 3 poikkeustapausta, jolloin rakennustuotetta ei tarvitse CE-merkitä, vaikka se kuuluisi harmonisoidun tuotestandardin piiriin. CE-merkintää ei tarvita, jos tuote joka on valmistettu tiettyyn kohteeseen muuten kuin sarjatuotantona ja joiden kiinnittämisestä vastaa valmistaja, tuotteelle joka valmistetaan rakennuspaikalla

ja joiden kiinnittämisestä rakennuskohteeseen vastaa valmistaja tai kun kyseessä on historialliseen korjausrakennuskohteeseen perinteiseen tapaan valmistettu tuote. [5.] Se kuuluuko yksittäinen rakennustuote hEN piiriin, CE-merkinnän poikkeustapaukset ja CE-merkinnän käyttöönoton siirtymäajat voi tarkistaa esimerkiksi henhelpdesk.fi-internetsivuston kautta.

CE-merkinnällä rakennustuotteen valmistaja ilmoittaa tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla. Samantyyppisten rakennustuotteiden kelpoisuutta on parempi vertailla, kun niiden ominaisuudet on mitattu, laskettu ja ilmoitettua samalla tavalla. Rakennustuotteen CE-merkintään ja suoritustasoilmoitukseen (DoP) on merkitty yleensä mm. valmistaja, tuotteen ominaisuuksien ilmoitetut suoritustasot, viittaus hEN tuotestandardiin ja tuotteen tarkoitettu käyttötarkoitus. Huomioitavana asiana on, että CE-merkintä ei takaa tuotteen soveltuvuutta tiettyyn rakennuskohteeseen tietyssä maassa vaan suunnittelua, rakennustuotteiden käyttöä sekä rakennuskohdetta säätelevät kansalliset viranomaissäädökset. Rakennustuotteiden käyttäjien tulee tarkistaa, täyttääkö tuotteelle CE-merkinnässä ilmoitetut ominaisuuksien arvot ja luokat kansalliset vaatimustasot. [5.] Rakennesuunnittelija merkitsee suunnitelmiin rakennustuotteelle asetetut perusvaatimukset ja vaadittavat suoritustasot. Jos rakennesuunnittelija merkitsee suunnitelmiin CE-merkityn rakennustuotteen ja lisää tuotteen perään ”tai vastaava”-tekstin, on rakentajan käytettävä, vaikka valitsisi toisen valmistajan tuotteen, vastaavilla ominaisuuksilla, suoritustasoilla ja hyväksynnällä olevaa tuotetta.

Jos rakennustuotteelle ei ole harmonisoitua tuotestandardia ja sitä kautta mahdollisuutta saada CE-merkintää, voi valmistaja hankkia eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA), jonka perusteella rakennustuote voi saada CE-merkinnän. Jos rakennustuotteen valmistaja ei halua CE-merkintää, voi tuotteen kelpoisuuden osoittaa myös käyttämällä kansallista hyväksymismenettelyä, esimerkiksi tyyppihyväksyntää. Tyyppihyväksyntä menettely on vapaaehtoinen menettelytapa niille tuotteille, joista säädetään ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäasetuksessa. Tyyppihyväksynnän avulla rakennustuotteen valmistaja voi osoittaa, että tuotetta voidaan käyttää rakentamiseen, sillä se täyttää sille lainsäädännössä asetetut vaatimukset. Rakentaja voi sitten taas rakennuslupaa hakiessaan tai rakennusvalvonnan yhteydessä osoittaa tyyppihyväksynnällä tuotteen kelpoisuuden rakennuskohteeseen. Rakennesuunnittelijan tulee merkitä suunnitelmiin ainoastaan sellaisia rakennustuotteita, jolla on jokin edellä mainittu hyväksyntä. Suunnittelijan on muutenkin varmistettava, että hänellä on käytössä käytettyä rakennustuotteesta kaikki ne tiedot, jotka varmistavat tuotteen sopivuuden kyseiseen

rakenteeseen. Esimerkiksi kiila-ankkurin valmistaja voi ilmoittaa kiila-ankkurin olevan CE-merkitty ja soveltuvan betoniin. Merkitty kiinnityspiste sijaitsee betonissa, mutta kohdassa jossa voidaan olettaa betonin halkeilevan esimerkiksi laatan alapinnassa. Suunnittelija ei voi tällöin laittaa CE-merkittyä kiila-ankkuria, jonka hyväksyntä ja kapasiteetti arvot ovat ainoastaan halkeilemattomaan betoniin. Suunnittelijan on tarkastettava, että kiila-ankkurin hyväksyntä koskee myös halkeillutta betonia. CE-merkintä ei siis itsessään takaa tuotteen soveltuvuutta tiettyihin olosuhteisiin. CE-merkinnästä löytyy lisätieto muun muassa RIL 229-1-2013 Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeesta sivulta 26.

#### 2.4 Talonrakennuksen pohjarakentamisen kustannukset

Talon rakentamisen hankesuunnitteluvaiheessa kerätään tietoa rakennuspaikan mahdollisista maa- ja pohjarakennus kustannuksista muun kustannusarvion osana. Pohjatutkimuksen alustavaa arviota rakennetaan esimerkiksi tiedustelemalla kunnilta maaperäkartoja tai selvitetään viereisten rakennusten perustamisratkaisuja, pohjatutkimustietoja ja kokemuksia maaperästä. Talon rakentamisen luonnosvaiheessa selvitetään tarkemmin rakennuspaikan pohjaolosuhteet, jotta pystytään määrittämään tarkemmin mm. perustamistapa ja -taso, kuivatusrakenteet, kaivut, täytöt, mahdolliset radon ratkaisut sekä tarvittavat routasuojaukset. Mitä tarkempaa pohjatutkimustietoa on pohjatutkijalla käytössä, sitä tarkempaa tietoa hän pystyy antamaan muille suunnittelijoille ja sitä tarkempi saadaan myös kustannusarviosta. Rakentamisvaiheessa täytyy olla perustamisolosuhteet tarkasti tiedossa.

Pohjarakentamiseen liittyvät kustannukset muodostuvat rakennuksen kaivantojen kaivuista, louhinnoista ja mahdollisista tuennoista, rakennuksen pohjan täytöistä, kuivatusrakenteista, vedeneristyksistä, rakennuksen perustusrakenteista, routaeristyksestä, alapohjan ja perusmuurien lämmöneristyksestä ja rakennuspohjan vahvistamisesta. Perustusrakenteisiin oletetaan kuuluvaksi anturat, mahdolliset paalut ja siirtymälaatat sekä perusmuurit ja -pilarit. Perustuskustannuksista täytyy huomioida myös tontin pihalueta sekä putkijohtoja koskevat kaivut, täytöt, pohjanvahvistukset ja kanaalit. [6.]

Seuraavaan on kerätty yksittäisiä asioita, joilla on vaikutuksia pohjarakennuskustannuksiin:

- Pohjarakennuskustannuksia saadaan tiputettua, kun sijoitetaan rakennukset ja eri toiminnot järkevästi tontille pohjaolosuhteiden mukaan [6].
- Rakennuspaikan sijainti ja ympäristö vaikuttavat kustannuksiin mm. kuljetusestäisyyksien vuoksi [6].
- Löyhälle maalle rakennettaessa pohjarakennuskustannukset lisääntyvät verraten rakennettaessa tiiville routimattomalle kitkamaalle. Kustannuksia lisäävät mm. paaluperustaminen, pohjanvahvistaminen ja routasuojaukset.
- Kalliolle rakennettaessa kustannuksia lisäävät mm. mahdollinen louhinta ja radon ratkaisut.
- Massanvaihdon enimmäissyvyytenä suositellaan käytettäväksi yleensä enintään 2-3 metriä perustamistasosta alaspäin, sillä syvemmälle massoja vaihdettaessa kustannukset nousevat paaluperustuksia suuremmiksi.
- Pohjavedenpinnan alapuolelle rakentaminen lisää kustannuksia vedenpitävien rakenneratkaisujen vuoksi.
- Maaperän mahdollinen pilaantuneisuus esimerkiksi tontin edellisen käyttötarkoituksen vuoksi lisää kustannuksia.
- Paalujen valintaan vaikuttaa pohjaolosuhteet, kuormat ja niiden käyttötarkoitus perustuksissa, mutta on huomioitava, että teräsputkipaalujen kustannukset ovat suuremmat kuin teräsbetonipaalujen kustannukset ja hintaero kasvaa paalujen pituuksien kasvaessa [7].
- Paalujen kalliokärjen käyttö on maakärkeä kalliimpaa sekä teräsputkipaaluilla, että teräsbetonipaaluilla [7].
- Pohjarakennuskustannukset kasvavat perustamissyvyyden kasvaessa.
- Harjateräksen materiaalivalintaan vaikuttavat olosuhteet missä niitä käytetään. Korroosioherkissä paikoissa tulee käyttää ruostumatonta terästä. Ruostumaton teräs on kuitenkin hinnaltaan kalliimpaa kuin ns. musta teräs, joten sitä ei tule käyttää ilman hyviä perusteita. Ruostumattoman teräksen korkeampaa materiaalikustannusta voi tietyissä tapauksissa kompensoida alhaiset ylläpito- ja hoitokustannukset sekä pienempi rakenteiden paksuus ja sitä kautta kevyempi rakenteen paino.

Rakennesuunnittelijan tulee olla hintatietoinen. Rakennesuunnittelijan kannattaa lähtökohtaisesti käyttää rakenneratkaisuja ja materiaaleja, joista on jo olemassa olevia hyviä kokemuksia. Rakenteet kannattaa suunnitella siten, että niissä olisi mahdollisimman paljon toistuvuutta. Tämä mahdollistaa työmaalla ja elementtitehtaissa myös toistuvuuden, esimerkiksi saman muotin käytön ja vähentää virheitä jokaisessa työvaiheessa.



Suunnitelmissa tulee esittää sellaisia materiaaleja, joita on saatavilla, ja aina kun mahdollista kannattaa käyttää vakiomittaisia tuotteita. Suunnitelmiin olisi hyvä merkitä rakenteeseen valitun materiaalin esimerkiksi lämmöneristeen perään teksti: ”tai vastaava”, jotta mahdollistetaan mahdollisesti halvemman tai helpommin saatavilla olevan ominaisuuksiltaan vastaavan materiaalin käyttö. Eri rakentamisen osapuolilla on erilaisia materiaalisopimuksia ja tilausmääriä, jotka mahdollistavat heille tietyn valmistajan tuotteen käytön normaalia halvemmalla tai yleinen kilpailutilanne voi vaikuttaa tuotteiden hintoihin. Rakennustieto julkaisee vuosittain kirjan: ”Rakennusosien kustannuksia”, josta saa uutta ja yksityiskohtaista kustannustietoa esimerkiksi eri rakenneratkaisujen kustannusten vertailuun.

### 3 Pohjatutkimus

Pohjatutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennuspohjan laatu niin hyvin, että pystytään varmistamaan, että pohjarakenteet toimivat suunnitellusti sekä rakennustyön, että rakennuksen käyttöajan ajan. Pohjatutkimuksen ja suunnittelun tulee olla sitä yksityiskohtaisempaa ja laajempaa, mitä vaativammat ovat pohjaolosuhteet, rakennettavan rakennuksen mittasuhteet ja erityispiirteet sekä kuinka vaativat ovat rakennustyössä käytetyt työmenetelmät. Pohjarakenteiden suunnitteluun osallistuu geotekninen suunnittelija sekä rakennesuunnittelija. Geoteknisen suunnittelun tavoitteena on selvittää rakennettavan rakennuksen pohjarakenteiden geotekninen toimintatapa ja tähän vaikuttavat yksityiskohdat. Geotekninen suunnittelija tekee pohjatutkimusten perusteella tarvittavat mitoitukset, joilla voidaan osoittaa pohjarakenteiden toimiminen suunnitellulla tavalla. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on suunnitella perustusrakenteet geoteknisen suunnittelijan antamien lähtötietojen pohjalta siten, että koko rakennus toimii suunnitellulla tavalla koko sen käyttöajan ajan. Rakennesuunnittelijan tulee huomioida rakennuksen rakenteissa mm. pohjarakenteiden mahdolliset painumat ja siirtymät, jotka geotekninen suunnittelija on tuonut esille suunnitelmissaan. Rakennesuunnittelijan on hyvä ymmärtää myös geotekniikkaa, sillä se helpottaa erilaisten perustusolosuhteiden riskien tunnistamista ja alapohjarakenteiden rakenneratkaisujen suunnittelua.

Geoteknisen suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan tulee toimia yhteistyössä koko pohjarakenteiden suunnittelun ajan, jotta päästään tavoitteeseen eli rakenteellisesti toimivaan ja taloudelliseen pohjarakenteiden kokonaissuunnitelmaan. Jo pohjatutkimusta varten olisi hyvä laatia pohjatutkimussuunnitelma rakenne- ja geosuunnittelijan yhteistyössä. Rakennesuunnittelija antaa tulevien perustusten paikat ja alustavat kuormitukset sekä tuo esille rakennuksen vaativimmat paikat. Näiden lähtötietojen pohjalta geotekninen suunnittelija määrittää tutkimuspisteet. Lisäksi pohjatutkimuksia tehdään tontilla tarpeiden mukaan.

#### 3.1 Pohjatutkimuksen selvitystyö

Pohjatutkimuksella selvitetään rakennettavan ympäristön pinnanmuodot, maakerrokset ja niiden paksuudet, kallionpinnan etäisyys ja laatu sekä pohjaveden korkeusasema. Maakerroksista tutkitaan niiden tärkeimmät ominaisuudet kuten maalajit, kokoonpuristuvuudet, leikkauslujuudet, routivuus ja tarvittaessa maakerrosten vedenläpäisevyudet.

Radonin esiintyvyyttä rakennus paikalla pystytään tutkimaan maa-ainesten ilmanläpäisevyydellä. [8.] Pohjatutkimuksen yhteydessä tontilta kartoitetaan olemassa olevat rakennukset ja niiden korkeusasemat, vesi- ja viemäriputkistot, sähkö- ja puhelinkaapelit, avo-ojat, kaivot, huomattavat avokalliot ja puut. Pohjatutkimus pisteitä tulisi ottaa niin useasta kohdasta ja eri sijainnista, kun se on geoteknisen suunnittelijan mukaan tarpeellista oikeellisen tiedon saamiseksi. Maaperän kerrokset ja kallionpinnan korke asema voi muuttua todella äkisti ja vaikeuttaa pohjatutkimusta ja aiheuttaa sitä kautta yllätyksiä rakennusvaiheessa. Se miten syvälle maahan tutkimuksia tarvitsee viedä, riippuu pohjaolosuhteista ja rakennuksen vaativuudesta, kuten kuormista, mittasuhteista ja käyttötarkoituksesta. Lisäksi uuden rakennuksen rakentamisessa tulee selvittää rakennettavan tontin sijainti suhteessa luontoon ja olemassa oleviin viereisiin rakennuksiin, jotta ei aiheuteta niille tarpeetonta haittaa. Hyvä on tietää esimerkiksi viereisten rakennusten perustamistavat, joista saadaan itselle tärkeää tietoa maaperästä sekä siitä, että voiko uuden rakennuksen rakentaminen muuttaa viereisten rakennusten pohjaolosuhteita siten, että ne voisivat häiriintyä. Rakennettavan tontin edellinen käyttötarkoitus on tärkeää selvittää, jotta maaperän mahdollinen pilaantuneisuus osataan ottaa jo ajoissa huomioon. Rakennuspaikan ympäristö on otettava huomioon, jotta ei pilata pohjavesiä ja luonnon monimuotoisuutta. Pohjarakenteiden työn edetessä ja itse rakentamisen jälkeenkin tehdään tarvittaessa selvitystyötä kuten painumamittauksia.

### 3.2 Pohjatutkimusmenetelmät

Erilaiset kairausmenetelmät soveltuvat eri tavalla maapohjasta selvittettäviin seikkoihin. Kallion pinnan selvittämiseen soveltuu parhaiten porakonekaivaus, sillä se mahdollistaa porautumisen tarpeeksi syvälle kallioon ja tätä kautta pystytään varmistamaan, että ei olla osuttu kivilohkareeseen. Tiiviin pohjakerroksen sijainnin selvittämiseen soveltuu parhaiten paino-, heijari- tai tärykairaus. Tiiveydeltään erityyppisten maakerrosten rajat pystytään selvittämään parhaiten painokairauksella tai puristinkairauksella. Maakerrosten likimääräinen lujuus saadaan selvitettyä parhaiten puristinkairauksella ja tarkasti maakerroksen lujuus selvitetään siipikairauksella. Maakerrosten tiiveyden likimääräiseen selvittämiseen soveltuu parhaiten paino-, heijari- tai puristinkairaus. Maalajiryhmien selvittämiseen suositellaan käytettäväksi paino- tai puristinkairausta. Lyöntipaalu- pituuksien arvioinnissa voidaan käyttää koekuoppaa, heijari-, puristinheijari- tai siipikairausta. [9.]

Useat kairausten tulkinnot edellyttävät, että maalajit on tunnistettava näytteiden avulla. Tekemällä näytteistä laboratorio kokeita saadaan selville useita oleellisia tietoja maaperästä. Näytteet jaetaan häiriintymättömiin ja häiriintyneisiin näytteisiin. Maa-aineksen lujuuden ja muodonmuutoksen selvittämiseen tarvitaan häiriintymättömiä näytteitä. Muun muassa kosteus, rakeisuus, routivuus ja humus pitoisuus saadaan selvitettyä myös häiriintyneestä näytteestä [10, s.270].

Pohjavedenpinnan selvittämiseen olisi hyvä saada mittaustulokset pidemmältä ajalta, sillä pohjaveden pinnan korkeusasema vaihtelee vuodenaikojenkin mukaan. Tutkimalla rakennuspaikan ympäristöä, kairausten ja näytteenotto tulosten pohjalta sekä käyttämällä pohjavesitarkastusputkea saadaan selville pohjaveden korkeusasema sekä mahdolliset orsivesikerrokset.

### 3.3 Rakennesuunnittelijalle perustietoa geotekniikasta

Geotekniikka eli maarakennusmekaniikka käsittelee maan ja kallion teknisiä ominaisuuksia sekä näiden soveltamista pohjarakentamiseen. Geoteknisessä suunnittelussa käytetään mitoitusmenetelmiä, joissa hyödynnetään maa- ja kallioperän tutkittuja ominaisuuksia.

#### 3.3.1 Maalajit ja niiden ominaisuuksien jaottelu

Maa-ainekset jaetaan niiden muodostumisen perusteella kahteen eri geotekniseen maalajiryhmään, jotka ovat kivennäismaalajit ja eloperäiset maalajit. Kivennäismaalajit muodostuvat kallioperästä ja eloperäiset maalajit kasveista ja pieneliöistä ajan saatossa. Suomen yleisin maalaji on moreeni. Sitä on noin puolet maamme pinnasta. Moreeni on lajittumatonta ja sisältää siten kaikkia raekokoja. Pohjamoreeni on tiiviiksi pakkautunut. Pintamoreeni on pohjamoreenia löyhempää. Kivennäismaalajit luokitellaan niiden rakeiden koon mukaan. Kivennäismaalajeja ovat sora (Sr), hiekka (Hk), hieta (Ht), Hiesu (Hs) ja savi (Sa). Kuvassa 1 on näytetty kivennäismaalajien raekokojen määrittäminen. Maalajien luokituksessa käytetään yleensä geoteknistä maalajiluokitusta (GEO-luokitus).

RT-luokitus		rakeiden läpimitta mm	GEO-luokitus	
maalaji	lajite		lajite	maalaji
lohkareet	lohkareet	>600	lohkareet	lohkareet
		600-200	isot kivet	kivet
kivet	isot kivet	200-60	pienet kivet	
	pienet kivet	60-20	karkeasora	sora
sora	karkea sora	20-6	keskisora	
	hieno sora	6-2	hienosora	
hiekkä	karkea hiekkä	2-0,6	karkeahiekkä	hiekkä
	hieno hiekkä	0,6-0,2	keskihiekkä	
hieta	karkea hieta	0,2-0,06	hienohiekkä	siltti
	hieno hieta	0,06-0,02	karkeasiltti	
hiesu	karkea hiesu	0,02-0,006	keskibiltti	
	hieno hiesu	0,006-0,002	hienosiltti	
savi	savi	<0,002	savi	savi

Kuva 1. Kivennäismaalajien rakennustekninen ja geotekninen luokitus [11, s.37]

Maalajit jaetaan ominaisuuksien perusteella kahteen kategoriaan, joita ovat luokitusominaisuudet ja geotekniset ominaisuudet. Luokitusominaisuudet jaetaan vielä kahteen eri kategoriaan, joita ovat rakenneominaisuudet ja koostumisominaisuudet. Koostumusominaisuuksiin kuuluvat maalajin raemuoto, lajitepitoisuus, humuspitoisuus ja kiintotiheys. Rakenneominaisuuksiin kuuluu maalajin vesipitoisuus, rakennetyyppi, tiiviyys ja tiivistyminen sekä plastisuus. Geoteknisiin ominaisuuksiin kuuluu maalajin hydrauliset, routivuus-, lujuus-, painumis- ja muodonmuutosominaisuudet. [10, s.46.]

### 3.3.2 Pohjavesi ja sen aiheuttamat rasitukset rakenteille

Pohjavesi liittyy avovesien pintaan ja se mukaillee maaston muotoja. Pohjaveden pinta on yleensä noin 2-4 metrin syvyydessä maanpinnasta, mutta esimerkiksi soraharjuilla pohjavesi voi olla kymmenienkin metrien syvyydessä. Keskiarvoisesti sateista tulevasta vedestä 20% imeytyy pohjavedeksi. [10, s.42.] Pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee sateiden ja maanpinnan alla tapahtuvien virtausten mukaan. Pohjaveden korkeus täytyy huomioida suunnitteluratkaisuissa. Jos rakennus perustetaan pohjavedenpinnan alapuolelle se aiheuttaa suunnitteluun sekä työmaalle rakennusaikana haasteita. Rakennesuunnittelijan täytyy huomioida tällöin pohjavesipinta vesitiiviillä rakenneratkai-

suilla sekä huomioida pohjavedestä rakenteille aiheutuva kuormitus. Laskentaesimerkissä 2 kappaleessa 5.1.1 on havainnollistettu pohjaveden vaikutusta maanpaineeseen. Pohjaveden vuoksi tehtävissä suunnitteluratkaisuissa täytyy huomioida myös viereisten rakennusten perustamisolosuhteet. Pohjavedenpintaa ei voida lähtökohtaisesti alentaa, jos viereinen rakennus on perustettu esimerkiksi puupaalujen varaan. Jos pohjavedenpintaa tarvitsisi tällaisessa tilanteessa alentaa, pohjarakennussuunnittelijan täytyisi tehdä tästä erillinen suunnitelma, jolla varmistetaan, että viereisen rakennuksen pohjaolosuhteet eivät muutu. Yksi mahdollinen keino on tehdä maahan tiivis ponttiseinä rakennusten välille, mutta se vaatii tarkempaa tutkimusta, seuranta ja suunnittelua.

Pohjavesipinnan yläpuolella ei ole myöskään kuivaa, vaikka siinä ei olisikaan esimerkiksi vajovesiä, sillä vesi nousee kapillaarisesti maa-ainesta pitkin pohjavesipinnasta. Kapillaarisuus riippuu maa-aineksesta. Savessa vesi pääsee nousemaan hyvin huokosien muodostamissa putkissa ns. huokosalipaineen avulla ja karkeamassa sorassa kapillaarista nousua ei ole juuri ollenkaan. Myös maa-aineksen tiiveys ja rakeisuus vaikuttavat kapillaarisuuteen. Kapillaarinen nousu on sitä korkeampaa mitä pienempiä ovat huokokset maa-aineksessa. Kuvassa 2 on esitetty maalajeittain veden kapillaarista nousukorkeutta. Kapillaarinen veden nousu täytyy huomioida perustuksia ja alapohjarakenteita suunniteltaessa. Vesi ei saa päästä nousemaan kapillaarisesti rakenteisiin, esimerkiksi maanvaraisen laatan alle tulevan salaojituskerroksen täytyy pystyä katkaisemaan vedennousu rakenteisiin. Kapillaarinen veden nousu voi myöskin kastella esimerkiksi ulkoseinän alaosan, jos perustusrakenne on yhteydessä pohjaveden pintaan ja veden kulkeutumista ei ole katkaistu sokkelin ja anturan välillä. Maaperässä saattaa olla pohjaveden pinnan yläpuolella myös orsivettä, joka on tietyn huonosti vettä läpäisevän maakerroksen päälle jäänyttä vettä. Kosteutta on maaperässä myös vesihöyryinä.

Maalaji	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
	Löyhä	Tiivis
Karkea hiekka	0,03 ... 0,12	0,04 ... 0,15
Hiekka	0,10 ... 0,35	0,12 ... 0,50
Hieno hiekka	0,3 ... 2,0	0,4 .. 3,5
Karkea siltti	1,5 ... 5	2,5 ... 8
Hieno siltti	4 ... 10	6 ... 12
Savi	> 8	> 10

Kuva 2. Eri maalajien kapillaarisuuden arvoja [12, s.39]

Usein maa-aineksen tilavuuspaino ilmoitetaan siten, että sen kyllästymisaste vedellä on 100%. Tämä tarkoittaa sitä, että maa-aineksen huokokset ovat kyllästyneet kokonaan vedellä. Jos maa-aines on taas täysin kuivaa, sen kyllästymisaste vedellä on 0%. Maa-aineksen tilavuuspaino saadaan, kun vähennetään sen märkätilavuuspainosta veden tilavuuspaino. Jos maa-aines on pohjavedenpinnan alapuolella, siihen vaikuttaa lisäksi noste, joka on maa-aineksen syrjäyttämän veden painon suuruinen. [10, s.50.] Laskettaessa esimerkiksi maanpainetta käytetään suurinta kuormaa, mikä voi rakenteen käyttöiän aikana esiintyä, siksi maan tilavuuspainona käytetään laskennassa täysin vedellä kyllästyneen maa-aineksen tilavuuspainoa pohjavedenpinnan yläpuolella ja huomioidaan vesirasitus rakenteiden suunnittelussa.

Jos pohjavesi nousee perusrakenteiden yläpuolelle, täytyy pohjavedestä aiheutuva noste huomioida rakenteita suunniteltaessa. Rakennuksen painon täytyy kumota pohjavedestä aiheutuva noste sekä esimerkiksi vesitiiviiden laattojen mitoituksessa täytyy laskea nosteen vaikutus kuormana laatalle. Nosteen suuruuden saa Arkhimedeeseen laisista, jonka mukaan veteen upotettuun kappaleeseen vaikuttaa ylöspäin suuntautuva voima eli noste, joka on yhtä suuri kuin kappaleen syrjäyttämän nesteen paino. Hydrostaattinen paine on pohjaveden pinnassa nolla ja se kasvaa jokaista alaspäin mentävää metriä kohti  $10 \text{ kN/m}^2$  [10, s.37].

Maaperässä rakeiden välisissä huokosissa olevaa vedenpainetta sanotaan huokosvesipaineeksi. Huokosvesipaine täytyy selvittää erikseen, kun lasketaan maaperän murtoilanteita, sillä se vaikuttaa olennaisesti mm. maaperän painumaan. Maan kokonaispaine on raepaineen ja huokospaineen summa. Esimerkiksi savimailla huokosvedenpaine saattaa nousta hetkellisesti kantamaan kuormaa. Tällainen tilanne voi syntyä, kun kiviaineksen kantavuus pettää kuormitetusta kohdasta ja vesi ei pääse poistumaan, sillä kaikki huokokset ovat jo vettä täynnä ja veden liike on hidasta. Tällaisessa

tilanteessa syntyy ylipaine maaperän vettä täynnä oleviin huokosiin. Ajan kanssa tämä ylipaine työntää vettä pois kuormitetusta kohdasta ja pyrkii tasapainoon ympäristön kanssa, jolloin kiviaines jossakin kohtaa rupeaa taas kantamaan. Kokonaispaine pysyy koko ajan samana savimaan alaosassa, ainoastaan raepaineen ja huokosvedenpainneen suhteet muuttuvat. Tällaista ilmiötä kutsutaan konsolidaatioksi, jolla tarkoitetaan pääsääntöisesti hienorakeisten maiden tiivistymistä, johon liittyy lähes syntynyttä painumakuoppaa vastaava vesi määrän poistuminen. [10, s.80.]

Kaivannoissa pohjavedenpinnan taso tulee ottaa aina huomioon. Kun kaivetaan pohjaveden pinnan alapuolelle, kasvaa myös vaara hydrauliselle murtumiselle. Pohjaveden virtaaminen kaivantoon pienentää maa-aineksen rakeiden välistä raepainetta ja nostaa vastaavasti rakeiden välisten huokosten vedenpainetta. Pohjaveden pinnan noususta aiheutuva virtauspaineen kasvu voi aiheuttaa hydraulisen murtumisen, kun kaivannon pohjaa kohti liikkuva ja nouseva vesi hävittää kokonaan rakeiden välisen kitkan eli raepaine muuttuu nollassa. Maarakeet eivät enää ole puristuksissa toisiaan vasten. Tällöin maa-aines, jonka lujuus perustuu rakeiden väliseen kitkaan, menettää lujuutensa. Toisin sanoen nousevan veden virtauspaine kumoaa veden alla olevien maarakeiden tehokkaan painovoiman vaikutuksen aiheuttaen maarakeiden kohoamisen ylöspäin ja maan löyhtymisen. Kaivannoissa hydraulinen murtuminen voidaan välttää esimerkiksi alentamalla pohjavettä.

### 3.3.3 Maa-aineksen routivuus

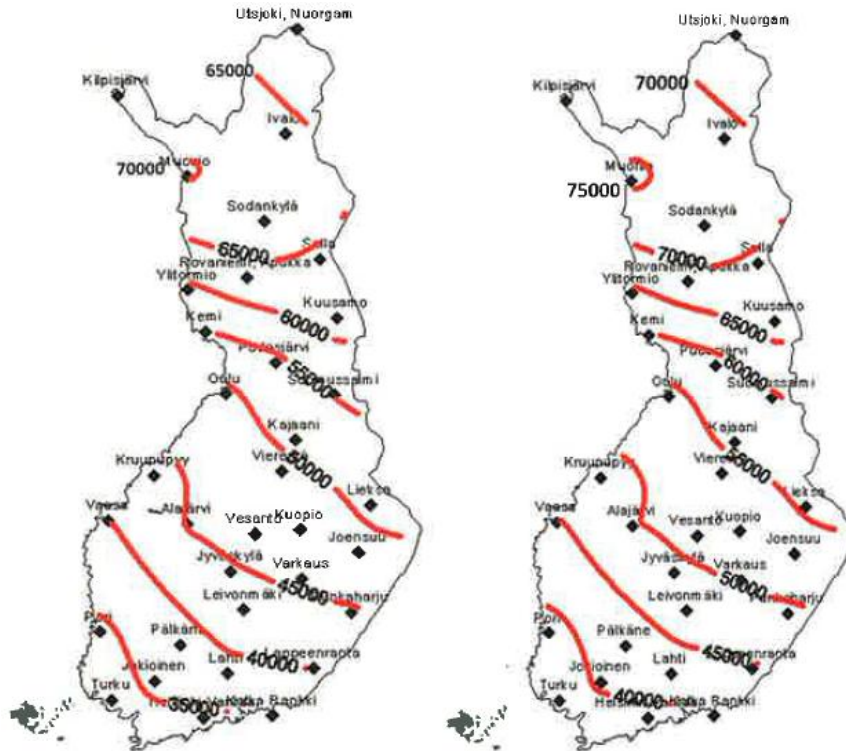
Kun puhutaan roudasta, tarkoitetaan jäätynyttä maakerrosta, jonka huokosissa vesi on jäätenyt. Kun maakerros routii, sen tilavuus kasvaa. Suomen maaperästä suurin osa on routivaa. Jotta maassa voi tapahtua routimista, maan pitää olla vedellä kyllästynyttä ja huonosti vettä läpäisevää, että kun jäätyminen tapahtuu, liika vesi ei ehdi poistumaan jäätyvästä huokosesta. Karkearakeisessa maassa liika vesi ehtii poistumaan huokosista jäätyneen tapahtuessa ja tämän vuoksi huokosen tilavuus ei muutu. [10, s.88.] On kuitenkin huomioitava, että kun vesi jäätyy, sen tilavuus kasvaa noin 9%, mutta sen paino pysyy samana. Yhdessä kuutiossa olevan veden massa on 1000 kg, ja yhdessä kuutiossa olevan jäätyneen veden massa on 915 kg. Veden tilavuuden kasvu jäätyessä tarkoittaa suunnittelijalle sitä, että vaikka käytettäisiin routimattomia täyttöjä, on varmistettava veden pois pääsy seinän vierustoilta ja kaivannoista, jotta vesi ei laajetessaan hajota rakenteita.



Routimisilmiötä voidaan kuvata yksinkertaistettuna seuraavasti. Veden jäätyessä ja samalla laajentuessa maan huokosissa jäänyt kohta imee jatkuvasti itseensä lisää vettä ja laajentuu kohottaen yläpuolisia maa-aineksia. Kyseiseen kohtaan syntyy uusia onteloita, joissa tapahtuu sama prosessi. Tällaiseen kohtaan syntyy ajan kanssa jäälinssi. Jäätymisen yhteydessä vesi luovuttaa jäätymislämpönsä ja jäälinssin kohta jää jälkeen routaantumissyvyydessä ympäristöstään, jossa ei ole yhtä voimakasta jäätymislämmön luovutusta. Maassa hieman syvemmällä eri kohdissa alkaa syntyä uusia jäälinsskejä, jotka imevät taas voimakkaammin vettä itseensä ja pakkasen pääsee ohittamaan kyseessä olevan jäälinssin kohdan. Maahan kehittyy useita jäälinsskejä, jotka imevät itseensä vettä ja niiden väliin voi tulla kohtia, jotka eivät laajene. Kapillaari imu tuo vettä jatkuvasti jäätyvään kohtaan ja routaantuvaan maahan kerääntyy näin lisävetä. Routimisenousu vastaa pääsääntöisesti kapillaarisesti nousseen veden muodostaman jään tilavuutta. [10, s.88.] Routimisenousun suuruutta on vaikea laskea johtuen suuresta määrästä siihen vaikuttavia tekijöitä.

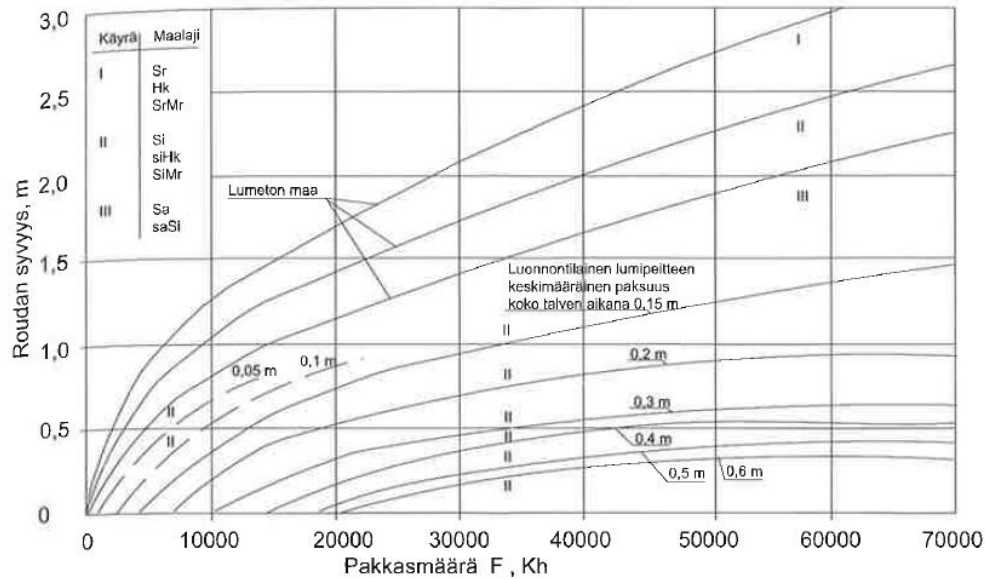
Maan routivuutta voidaan arvioida useammalla eri tavalla. Yksi tapa on tutkia maalajin kapillaarisuutta. Jos vesi pystyy nousemaan maa-aineksessa kapillaarisesti pohjavedenpinnasta yli metrin korkeudelle, katsotaan, että maa on silloin routivaa. Yksi menetelmä on niin sanottu Casagranden kriteeri, jossa pidetään maa-ainesta routivana, jos sen alle 2 mm rakeista yli 3 painoprosenttia on pienempiä kuin 0,02 mm. Tässä kriteerissä tulkitaan, että pienet hiukkaset tekevät maa-aineksen huokosista niin ahtaat, että maa routii. Yksi roudan arviointimenetelmä on niin sanottu freibergiläinen kriteeri, jossa routivuutta selvitetään roudan syntymismekanismien kautta. Menetelmässä tärkein arvo on annettu maalajin vedenläpäisevyydelle. Menetelmässä tulee esille, että routimista ei tapahdu, jos kapillaarinen imu ei jaksa nostaa vettä maalajin läpi jäätyvään kohtaa. Tätä ilmiötä voidaankin hyödyntää rakentamisessa, kun rakennetaan ensimmäinen kerros esimerkiksi louheesta tai sorasta, jonka läpi kapillaarista vedennousua ei pääse tapahtumaan pintakerrokseen. Useimmiten käytetään routivuuden arvioinnissa rakeisuuteen perustuvaa kriteeriä. Menetelmässä tutkitaan routivuutta maassa olevan hienoaineksen määrän mukaan. Rakeisuuskäyrältä katsotaan, kuinka paljon tasarakeisessa maassa täytyy olla mukana hienoainesta, jotta siitä tulee routivaa. Maalajit, jossa on suurempi raekoko, vaativat suuremman määrän hienoainesta täyttämään rakeiden väliset huokokset kuin pienemmän raekoon maalajit, joissa rakeiden välisiin huokosiin tarvitaan vähemmän hienoainesta tekemään siitä routivaa. Routivuutta tutkivissa menetelmissä ei oteta huomioon maaperän tiiveyttä ja sen vaikutusta huokosten kokoon. [10, s.90–92.]

Roudan syvyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat: pakkasmäärä, maalaji ja sen lämmönjohdavuus, maan kasvi- ja lumipeite sekä kosteusolosuhteet maaperässä. Suurin yksittäinen roudan syvyyteen vaikuttava tekijä on pakkasmäärä. Kuvassa 3 on esitetty pakkasmäärää talonrakentamisessa.



Kuva 3. Vasemmalla kuvassa on tilastollisesti kerran 50 vuodessa toistuva pakkasmäärä  $F_{50}$  (Kh) ja oikealla kuvassa on tilastollisesti kerran 100 vuodessa toistuva pakkasmäärä  $F_{100}$  (Kh) [13, s.18].

Kuvassa 4 on esitetty roudan tunkeutumissyvyyttä, jota pystytään arvioimaan pakkasmäärän ja maalajin avulla. Lumipeite vaikuttaa olennaisesti roudan syvyyteen.



Kuva 4. Pakkasmäärän ja lumen vaikutus roudan syvyyteen [13, s.33].

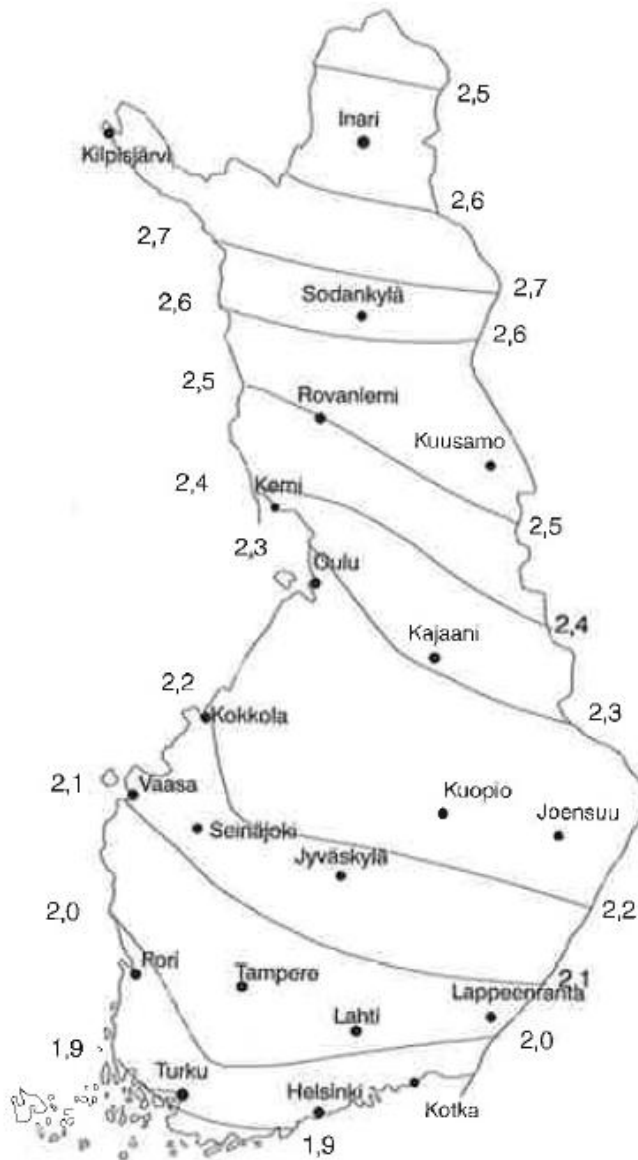
Pohjatutkija ilmoittaa roudattoman syvyyden ja sillä tarkoitetaan siis mittaa maanpinnasta jäätyvän maan alarajaan. Jos käytetään routimattomia täyttöjä pohjatutkijan ilmoittamaan roudattomaan syvyyteen saakka, ei tarvita erikseen routaeristeitä suojaamaan perustuksia, mutta niitä voidaan tarvita silti sokkeleissa sekä suojaamaan putkijohdot. Tämän vaihtoehdon suunnittelija voi tuoda esille perustussuunnitelmissa.

Muun muassa RIL 261-2013:sta on annettu aputaulukoita sekä lämpimien, että kylmien rakennusten roudan syvyyden arviointiin. Kuvassa 5 on näytetty lämpimien rakennusten roudaton perustussyvyys yli 4 metriä leveille ja sisälämpötilaltaan vähintään +17 °C oleville rakennuksille. Maanpinta oletetaan kuvassa 5 olevan täysin lumeton rakennuksen vieressä. Kuvassa 5 on annettu 2 eri arvoa perustamissyvyydelle. Hienorakeisilla maalajeilla käytetään pienempää arvoa ja karkearakeisille ja moreenille käytetään suurempaa kuvan arvoa. Pakkasmäärän mukaan taulukon perustamissyvyyksien välisiä arvoja interpoloidaan. Puolilämpimillä rakennuksilla, joiden lämpötila on +5 ja +17 °C:n välillä kuvan 5 mukaisiin perustamissyvyyksiin lisätään 0,2-0,3 metriä. [1, s.29.]

Perustamistapa	Perustuksen osa	Roudaton perustussyvyys, m Pakkasmäärä $F_{50}$ , Kh		
		35000	50000	65000
Maanvastainen alapohja; alapohjarakenteen lämmönvastus $\leq 5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , perusmuurin lämmön- eristys ulkopinnassa	Seinälinja	1,0/1,2	1,3/1,5	1,6/1,9
	Nurkka	1,3/1,6	1,6/2,0	2,0/2,3
Ryömintätila, tuuletus ulkoa $0,6 \text{ l/sm}^2$ ; alapohjarakenteen lämmönvastus $\leq 4,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	Seinälinja	1,1/1,4	1,4/1,8	1,8/2,2
	Nurkka	1,4/1,8	1,7/2,2	2,1/2,6

Kuva 5. Lämpimien rakennusten roudaton perustamissyvyys routivalla maaperällä [1, s.30].

Kylmien rakennusten keskimääräisessä roudattomassa syvyydessä kuvassa 6 ei ole otettu huomioon lumen vaikutusta ja siinä syvyysarvot vastaavat kuvan 4 mukaista maalajiryhmän II noin kerran 50 vuodessa esiintyvän roudan syvyyttä. Perustamissyvyydet olisivat karkearakeisilla maalajeilla suurempia. [13, s.118.]

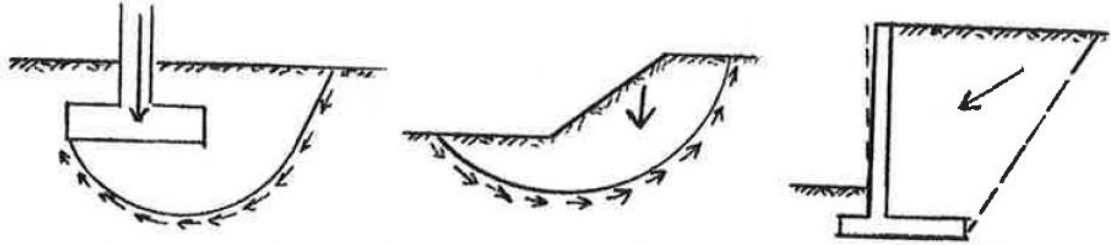


Kuva 6. Kylmien rakennusten keskimääräinen roudaton perustamissyvyys routivalla maaperällä [13, s.118]

### 3.3.4 Maan leikkauslujuus

Leikkauslujuus on maaperän tärkein lujuusominaisuus. Maakerroksen kitkakulmasta puhuttaessa tarkoitetaan maan leikkauslujuutta. Eri maalajien kitkakulmia on arvioitu taulukossa 1. Leikkauslujuus vaikuttaa muun muassa maapohjan kantavuuteen, vakaavuuteen ja rakenteisiin kohdistuvaan maanpaineeseen. Maakerroksen leikkauslujuus perustuu rakeiden väliseen kitkaan ja koheesioon. Saven leikkauslujuus muodostuu koheesiosta, karkearakeisten maalajien kuten soran leikkauslujuus muodostuu kitkasta ja niin sanottujen välimuotomaalajien kuten moreenin leikkauslujuus muodostuu ko-

heesiosta sekä kitkasta. [10, s.98.] Esimerkiksi perustusten, kaivantojen ja tukiseinien kohdalle syntyy kuvan 7 mukaisia leikkauspintoja, joiden kohdalta maa pyrkii murtohetkellä leikkaantumaan.



Kuva 7. Maan leikkauslujuus on merkitsevä kuvan rakenteissa [10, s.98].

Leikkauslujuuden peruskaava merkitään seuraavasti:

$$T_f = c + \sigma' * \tan \varphi \quad (1)$$

$T_f$  = Murtoleikkausjännitys

$C$  = Koheesio

$\varphi$  = Kitkakulma (fysiikassa sama kitkakerroin merkitään  $u$  :lla)

$\sigma'$  = jännitys, raepaine murtopinnalla

Kaavassa on merkitty, että kitkaa aiheuttava puristus johtuu ainoastaan raepaineesta, jolloin täytyy huomata, että kokonaispaine on raepaineen ja huokosvesipaineen summa. Kokonaispaine merkitään seuraavasti.

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

$\sigma$  = kokonaispaine

$u$  = huokosvesipaine

Eli jos tiedetään, että osa leikkauspintaa vastaan kohdistuvasta kokonaispaineesta on huokosvesipainetta  $u$ , se vähennetään kokonaispaineesta  $\sigma$ , jolloin saadaan tulokseksi raepaine ( $\sigma' = \sigma - u$ ). Laskettaessa pelkän kitkamaan leikkauslujuutta kaava sieventyy muotoon  $T_f = \sigma' \cdot \tan \varphi$ . Karkearakeisen maan murtoleikkauslujuus kasvaa kitkakulman mukaisesti, kun sen puristusjännitystä lisätään. Maa-aineksessa olevat rakeet puristuvat toisiaan vasten ja niiden välille muodostuu tätä kautta kitkaa, joka estää maan leikkaantumista. Laskettaessa pelkän koheesiomaan leikkauslujuutta kaava sieventyy muotoon  $T_f = c$ . Puhtaan koheesiomaan murtoleikkauslujuus pysyy vakiona, vaikka sen puristusjännitystä lisättäisiin. Esimerkiksi savella liian suuren kuormituksen vallitessa tapahtuu murto leikkautuvalla pinnalla niin nopeasti, että vesi ei ehdi poistumaan rakeiden välistä ja samalla estää rakeiden puristumisen toisiaan vasten, estäen myös rakeiden välisen kitkan ja tätä kautta myös maan lujuuden kehittymisen. Jos koheesiomaalle mitoitetaan jokin rakenne, on siis käytettävä sitä maassa olevaa lujuutta, mikä siinä on ennen kuormitusta. Välimuotomaalajeilla, kuten moreenilla ja siltillä murtoleikkauslujuus muodostuu koheesiosta sekä kitkasta. Välimuotomaan kuten siltin murtoleikkauslujuus pysyisi ajan kuluessa vakiona koheesion vuoksi, kun puristusjännitystä lisättäisiin, elleivät siinä olevat rakeet pääsivät ajan kuluessa maassa olevan rakeiden välisen veden ylipaineen tasaannuttua puristumaan toisiaan vasten ja lisäämään kitkan ansiosta maan murtoleikkauslujuutta kitkakulman mukaisesti. [10, s.99–101.]

Maaperän tiiveydellä on olennainen merkitys karkearakeisilla mailla kitkakulman muodostumiseen. Kitkakulman muodostumiseen vaikuttaa myös maaperässä olevien rakeiden koostumus ja raemuoto. Mitä suurempia ovat maaperässä olevat rakeet sitä suurempi on myös sen kitkakulma. Kitkakulma on sitä pienempi mitä löyhempää, tasarakeisempää ja pyöreämpää ovat maaperässä olevat rakeet. Kitkakulma suurenee kun maaperän aines on hyvin suhteistunut, tiivistynyt ja raemuoto terävsärmäistä. Taulukon 1 mukaista tietoa maalajien tilavuuspainoista ja kitkakulmista voidaan hyödyntää maanpainelaskelmien alustavassa suunnittelussa lähtötietojen puuttuessa. Lopulliset rakentamista varten tulevat arvot täytyy saada geotekniseltä suunnittelijalta.

Taulukko 1. Rakeisuuden ja kairausvastuksen mukaan tehdyt arviot eri maalajeista [14].

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m <sup>3</sup> ) pohjavedenpinnan		Kitka- kulma φ (ast.)	Moduuli-		Kairausvastukset 1)	
		yläpuol.	alapuol.		luku m	eksp. B	painok. pk/0,2 m	heijarik. L/0,2 m
Hienohiekka d <sub>10</sub> ≤ 0,06	hHk L	15...17	9...	30	50... 150	0.5	20... 50	5... 15
	K			33	100... 200	0.5	50...100	15... 30
	T	16...18	11	36	150... 300	0.5	100...	30...
Hiekka d <sub>10</sub> > 0,06	Hk L	16...18	10...	32	150... 300	0.5	10... 30	5... 12
	K			35	200... 400	0.5	30... 60	12... 25
	T	17...19	12	38	300... 600	0.5	60...	25...
Sora	Sr L	17...19	10...	34	300... 600	0.5	10... 25	5... 10
	K			37	400... 800	0.5	25... 50	10... 20
	T	18...20	12	40	600...1200	0.5	50...	20...
Moreeni	Mr HL	16...19	10...12	...34	300... 600	0.5	... 40	... 20
	L	17...20	10...12	...36	600...	0.5	40...100	20... 60
	K	18...21	11...13	...38	800...	0.5	100...	60...140
	T	19...23	11...14	...40	1200...	0.5	lyömällä	140...
2)Tiivistetty täyte perus- tusten alla	Louhe	15...18	9...11	45	1200	0.5		
	Murske	19...22	11...13	42	1200	0.5		
	Sora	18...21	11...13	40	1200	0.5		

- 1) Maalajien tiivyyttä ei moreeneja lukuun ottamatta saa yleensä arvioida pelkkien heijarikairaustulosten perusteella.
- 2) Näiden arvojen käyttö edellyttää, että työn suoritus ja materiaalit ovat Sil-lanrakentamisen yleisten laatuvaatimusten - SYL 2 kohdan 2.7.1.2 /24/ mukaiset.

### 3.3.5 Maan kokoonpuristuvuus ja painuminen

Mitä tiiviimmässä tilassa maa-aines on, sitä paremmat ovat sen lujuusominaisuudet, kuten pieni kokoonpuristuvuus. Maa-aineksessa voi tapahtua kokoonpuristuvuudessa 3 erityyppistä muodonmuutosta, jotka ovat kimmainen ja plastinen muodonmuutos sekä konsolidaatio. Maaperän painuminen muodostuu yleensä lähes kokonaan konsolidaatiosta. Kimmoisessa muodonmuutoksessa maaperässä ei tapahdu kuormituksen jälkeen pysyvää muodonmuutosta eli kivrakeet lähinnä puristuvat toisiaan vasten, eikä maassa tapahdu juurikaan tilavuuden muutosta. Plastinen muodonmuutos tapahtuu, kun kuormitus aiheuttaa maassa muodonmuutoksia, jotka eivät palaudu kuormituksen poistuttua. Maan kivrakeet liikkuvat toistensa suhteen kuormituksen alla ja kuormitta-



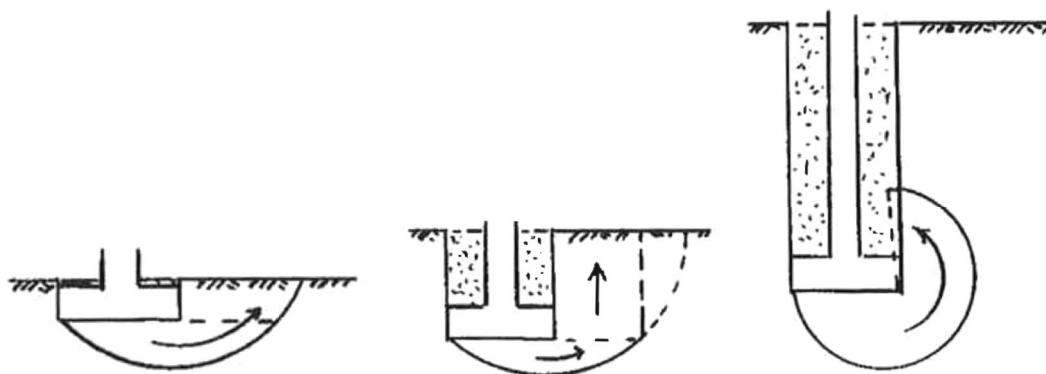
van kohdan sivuilla maa-aines nousee. Plastinen painuma kertoo, että maassa oleva leikkausjännitys on kohonnut lähelle murtotilaa ja maassa on tapahtunut murtotilaa edeltävää myötäämistä. Suunnittelussa ei voida tehdä rakenteita, joissa mennään plastisen painuman rajoille, joten suunnittelussa käytetään varmuuskertoimia, joilla pyritään estämään plastisen painumisen syntymistä. Konsolidaatiossa kuormitettu kohta tiivistyy ilman, että maaperä muuten kuormitetun kohdan sivuilla nousisi. Kuormitetussa kohdassa kiviainesrunko pettää ja painuu kokoon. Konsolidaatio painumisessa on kyse pääsääntöisesti normaalilla kuormituksella maassa olevien huokostilojen pienenemisestä, ei maarakeiden tilavuuden muutoksesta. Kuormituksen poistuttua kyseinen tiivistynyt kohta ei palaudu ennalleen. Karkearakeisilla mailla kuormituksen alla rakeet puristuvat toisiaan vasten ja samalla huokostila pienenee tiivistymisessä ja huokostiloissa mahdollisesti oleva vesi poistuu. Hienorakeisten maiden tiivistymisessä on kyse veden hitaasta poistumisesta maa-aineksesta ja tätä ilmiötä on käsitelty kohdassa 3.3.2. Konsolidaatio painuma on suurin osa kokonaispainumasta. [10, s.118.]

Tarvittaessa geosuunnittelija voi laskea myös alkupainuman, joka syntyy heti kuormituksen jälkeen. Alkupainuma käsite sisältää kimmoisen painuman, mutta siihen voi liittyä muitakin painumatyyppejä. Koheesiomaalla painuma tarkastellaan konsolidaatiopainuman kautta ja alkupainuma tarkastellaan vasta, jos yläpuoliset rakenteet vaativat tätä tarkkuutta. Kitkamailla painuma tarkastellaan kokonaan alkupainumana tai konsolidaatiopainumana, sillä ne tapahtuvat samanaikaisesti ja painumat ovat yleensä ohi muutamassa kuukaudessa. Erityisesti paksuilla savimailla voi tapahtua lisäksi ns. sekundääripainumaa, joka on pientä jatkuvaa painumaa konsolidaatiopainuman jälkeen tai osin jo sen aikana. Raimo Jääskeläisen Geotekniikan perusteet 2009 kirjassa on esitetty laskuesimerkein painumaan liittyvää laskentaa.

### 3.3.6 Maapohjan kantavuus ja vakavuus

Geosuunnittelija laskee maapohjan kantavuutta ja vakavuutta liukupinta-analyysin avulla tai sitten kantavuuskaavoilla, jotka perustuvat maapohjan murtotilaan. Liukupinta-analyysin perusmenettelyssä haetaan sellaista maapohjassa olevaa liukupintaa, jota pitkin murto pääsee helpoiten tapahtumaan. Maaperään syntyy siis jännittynyt liukupinta, joka vastustaa murtumista estäen maata luiskahtamasta pois kuormitusta aiheuttavan rakenteen alta. Maa-aineksen leikkauslujuudella on olennainen merkitys sen vakavuuteen. Koheesiomaan ja kitkamaan ero laskettaessa niiden vakavuutta liukupinta-analyysin kautta on se, että kitkamaalla leikkauslujuus ei ole vakio, vaan se riippuu

juuri tarkasteltavasta kohdasta, jossa liukupintaa vasten kohdistuu normaalijännitys. Kuvassa 8 on kuvattu liukupintoja ja maaperän liikkeitä eri perustamissyvyyksissä. Liukupinta-analyysiä käytetään esimerkiksi silloin, kun rakenne on luiskassa tai sen lähellä, maapohja koostuu eri maakerroksista joiden lujuudet poikkeavat toisistaan, koheesiomaakerrokseen perustettaessa huokosvedenpaine kasvaa tai sitten maanpaine kuormittaa rakennetta. [15, s.116.] Liukupinta-analyysin avulla pystytään laskemaan monimutkaisia vakavuuteen ja kantavuuteen liittyviä tilanteita. Liukupinta-analyysiin liittyvää perusteoriaa ja laskentaesimerkkejä löytyy Raimo Jääskeläisen Geotekniikan perusteet 2009 -kirjasta. Murtotilalaskentamenetelmät perustuvat plastisuusteoriaan ja ne ovat teoreettisesti johdettuja likimääräisiä yhtälöitä, mutta niiden laskentaan liittyviä kertoimia on tutkittu käytännön kokeiden avulla. Kantavuuskaavojen eli murtotilaan perustuvien laskelmien avulla voidaan mitoittaa esimerkiksi talojen perustukset.



Kuva 8. Maaperän liikkeitä ja liukupintoja eri perustamissyvyyksillä [10, s.206]

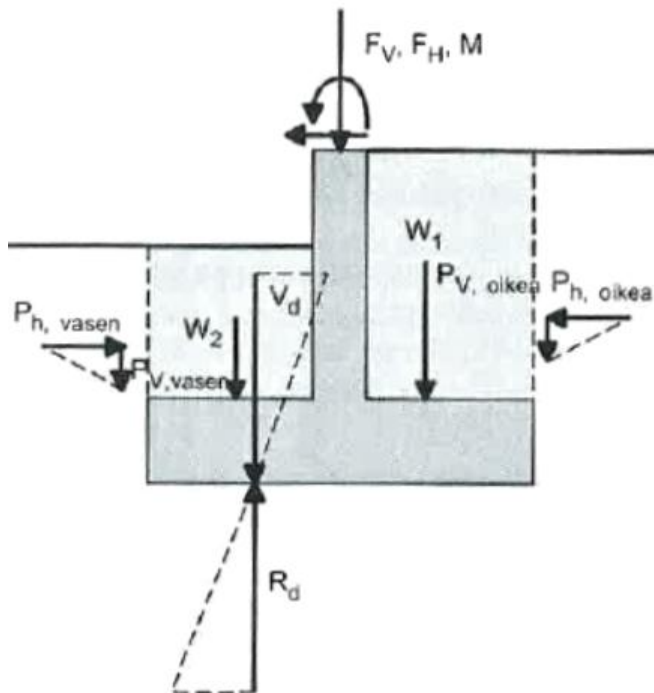
Perustusten laskentaa varten rakennesuunnittelija saa yleensä geosuunnittelijalta kantokestävyyden laskenta arvon  $R_d/A'$ . Olennaista on huomata onko saatu kantokestävyyden laskenta arvo ominaisarvo  $R/A'$  vai mitoitusarvo  $R_d/A$ . Rakennesuunnittelija laskee perustukset kantokestävyyden mitoitusarvolla ja kuormien mitoitusarvoilla. Kantokestävyyttä lasketaan Suomessa yleensä analyttisen laskentamenetelmän avulla, jossa otetaan huomioon seuraavat vaikutukset: maapohjan lujuus parametrien  $c_u$  (suljettu leikkauslujuus),  $c'$  (tehokas koheesio) ja  $\phi'$  (maan tehokas kitkakulma) arvoilla; kuormien epäkeskisyys ja kaltevuus; perustuksen muoto, syvyys ja kaltevuus; maanpinnan kaltevuus; pohjavedenpaineet ja hydrauliset gradientit sekä maapohjan vaihtelevuus, erityisesti kerroksellisuus. [16.] Koska perustusten kantokestävyyttä ei määritellä pelkkien maaparametrien mukaan, täytyy geosuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan tehdä yhteistyötä hyvän perustussuunnitelmien saavuttamiseksi.

Kun lasketaan perustusten kantokestävyyttä, täytyy alla olevan epäyhtälön toteutua kaikissa murtorajatiloina [16]:

$$V_d \leq R_d \quad (3)$$

$R_d$  = kantokestävyyden mitoitusarvo perustuksille

$V_d$  = pystysuuntaisten kuormien mitoitusarvo, joka sisältää perustusten ja taustatäyttömateriaalien painot sekä maanpaineet huomioiden edulliset ja epäedulliset kuormitustilanteet sekä vedenpaineet, joita perustuskuorma ei aiheuta.  $V_d$  sisältää siis kuvasta 9. näytetyt rakenteelliset kuormat  $F_v$ ,  $F_h$  ja  $M$ , maanpaineet  $P_h$  ja  $P_v$  ja täytöt  $W_1$  ja  $W_2$ .



Kuva 9. Perustuksiin kohdistuvat vaikutukset [17, s.104].

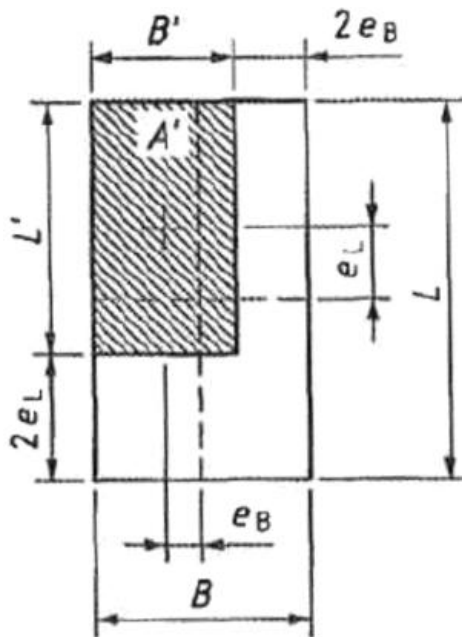
Mitoitusarvo perustusten kantokestävyydelle lasketaan ominaisarvosta seuraavasti [16]:

$$\frac{R_d}{A'} = \frac{R}{\gamma_{R,v} A} \quad (4)$$

$A' = L' * B'$  (perustuksen tehokas mitoituspinta-ala, kuvassa 10. esitetyt mitat)

$R$  = kantokestävyyden ominaisarvo

$\gamma_{R,v}$  = kantakestävyyden osavarmuusluku 1,55 (R2), kantakestävyyden osavarmuusarvo antura- ja laatta perustuksille löytyy eurokoodin pohjarakenteiden kansallisesta liitteestä taulukosta 8.



Kuva 10. Perustusten tehokas mitoituspinta-ala  $A'$  [16, s.152].

Analyttisen menetelmän laskennan kaavat löytyvät Eurokoodi 7:stä liitteestä D sekä sama laskenta on käsitelty RIL 207-2009 sivulta 103 alkaen. Kantokestävyyden kaavassa käytetty  $B$  on kuvan 10 mukaisesti aina laatan/perustuksen pienempi sivumitta ja  $L$  pidempi sivumitta. Kaavassa laskettaessa maan tilavuuspainoja tulee olla selvillä pohjaveden pinnan taso, koska sillä on merkitystä laskennassa käytettyihin maanaineksen tilavuuspainoihin perustuksen ala- ja yläpuolella. Esimerkiksi, jos pohjavesi voi nousta anturan alapinnan tasoon, tulee käyttää maan perustamistason alapuolella olevan maan tilavuuden mitoitussarvona  $\gamma'$  tilavuuspainoa, joka on veden alla. Laskentaohjeessa käytetään termejä suljetun tilan olosuhteet, jolla tarkoitetaan koheesiomaata sekä avoimen tilan olosuhteet, jolla tarkoitetaan kitkamaata.

### 3.3.7 Maapohjan vahvistaminen

Maapohjan vahvistamisella parannetaan maaperän geoteknisiä ominaisuuksia ja pyritään saamaan tietty huonolaatuinen maaperä rakentamiskäyttöön. Pohjanvahvistuksen suunnittelu vaatii tarkkaa pohjatutkimusta ja se kuuluu osana geoteknistä suunnittelua. Maanpohjan vahvistamisella pyritään vähentämään maaperän painumaa, lisäämään sen kantokykyä, lisäämään dynaamista vaimennusta ja vähentämään dynaamisen kuormituksen aiheuttamaa maan juoksettumisvaaraa. Edellä mainittuihin tavoitteisiin päästään yleensä, kun vähennetään maan huokoisuutta joko pienentämällä maa-aineksen huokostilaa lähentämällä maarakeita tai täytetään huokostilat sopivalla täyteaineella. Keinoja maapohjan vahvistamiseen ovat eri menetelmin syvätiivistys, esikon-solidointi, injektointi, stabilointi ja maan vahvistaminen lujitteilla. [15, s.273-274.]

### 3.3.8 Rakentamiseen käytettävä kiviaines

Rakentamiseen otetaan kiviainesta kalliosta murskaamalla, luonnon sora-alueilta ja kierrättämällä vanhaa kiviainesta, kuten tekemällä betonimurskettä. Kiviaineksen laadulla on suuri merkitys mihin tahansa sitä käytetään. Laatua ei määrittele pelkästään yksi kiviaineksen ominaisuus vaan se on useamman summa. Käyttökohteen kannalta tärkeimpiä kiviaineksen ominaisuuksia ovat rakeiden muoto ja niiden kokojakauma, iskunkestävyys, vesipitoisuus ja vedenimeytyminen, tiheys, kulutuksen kestävyys, rapautuvuus ja kiviaineksen puhtaus haitta-aineista. Kiviaines on harmonisoidun tuotestandardin piirissä. Karkearakeiset maat ovat hyvin vettä läpäiseviä, vesi nousee niissä huonommin kapillaarisesti ja ne ovat routimattomia. Hienorakeiset maa-ainekset ovat usein routivia, huonosti vettä läpäiseviä, niissä vesi nousee helpommin kapillaarisesti ja ne pitävät vettä hyvin sisällään. Maa-aineksen suhteistuneisuus vaikuttaa sen tiivistämiseen. Hyvin suhteistunut maa-aines tiivistyy paremmin ja tasarakeinen maa-aines tiivistyy huonommin. Hyvin tiivistyvällä maa-aineksella on parempi kantavuus. Maa-aineksen tiivistyvyyttä voidaan selvittää raekokosuhteen perusteella, joka selvittää maa-aineksen suhteistuneisuutta ja lajittuneisuutta.

Sepelistä puhuttaessa tarkoitetaan kiviainesta, jonka raekoko on 6-32 mm. Sepelistä seulotaan kaikki hienojakoinen aines pois, joten siitä tulee hyvin vettä läpäisevää, mutta huonosti tiivistyvää. Kalliomurskeesta puhuttaessa tarkoitetaan kiviainesta, joka on kalliosta murskattua ja sen raekoot ovat 0mm ylöspäin. Murskeessa on siis hienojakoinen aines mukana, joten se on hyvin tiivistyvää ja tukevaa. Kivituhkasta puhuttaessa

tarkoitetaan kiviainesta, joka on kalliosta murskattua raekoolta 0-6mm olevaa hienoainesta. Kivituhka tiivistyy helposti. Salaojasoralla tarkoitetaan hyvin vettä läpäisevää soraa, josta on seulottu ainoastaan kaikkein tiivistyvin aines pois. Salaojasoran yleisin raekoko on 0 mm/1 mm - 8 mm/16 mm. Salaojasoran rakeisuus on määritelty tarkasti salaojitusnormeissa RIL 126-2009. Puhuttaessa kiviaineksella tehtävästä kapillaarikatkosta esimerkiksi maanvaraisen lattian alle tarkoitetaan kiviainesta, jonka raekoot ovat 5-8 mm/16 mm tai 5-8 mm/32 mm. Eri valmistajilla on ohjeistuksia kiviainesten laadusta ja käytöstä. Esimerkiksi Ruduksella on ohje: "Pienrakentajan kiviainekset", jossa kuvataan eri kiviainekset tuotteina ja niiden käyttökohteet.

### 3.4 Pohjatutkimusmerkinnät

Kun rakennettavalta paikalta on suoritettu kartoitus, vaaitus ja pohjatutkimus kasataan saadut tulokset pohjatutkimuskarttaan, leikkauksiin ja erilliseen selostukseen. Yleisimmät pohjatutkimuskartalla ja leikkauksissa esitetyt merkinnät on esitetty kuvassa 11, 12, 13 ja 14.

Maalajiryhmä Soil group	Maalajit Soil types	Värit Colours	
Eloperäiset maalajit (E) Organic soils	Humusmaa Organic soil	Hm	
	Turve Peat	Tv	harmaa grey
	Lieju Mud, ooze	Lj	tumman harmaa dark grey
Hienorakeiset maalajit (H) Finegrained soils	Savi Clay	Sa	sininen blue
	Siltti Silt	Si	violetti violet
Karkearakeiset maalajit (K) Coarse grained soils	Hiekka Sand	Hk	keltainen yellow
	Sora Gravel	Sr	vihreä green

Moreeni maalajit (M) Moraines	Silttimoreeni Silty till	SiMr	ruskea brown
	Hiekkamoreeni Sandy till	HkMr	
	Soramoreeni Gravelly till	SrMr	
Kiviä Cobbles	Kiviä Cobbles	Ki	
	Lohkareita Boulders	Lo	
	Kivi tai lohkare Stone or boulder	läpiporattu*) hole drilled through*)	






\*) merkin korkeus osoittaa lohkareen koon  
\*) the size of the symbol corresponds to the size of the boulder

Kuva 11. Maalajien pohjatutkimusmerkinnät [18]

Leikkauksissa ja pohjatutkimuskartalla käytetään kuvan 11 mukaisia pohjatutkimusmerkintöjä kuvaamaan eri maalajeja. Maalajien rajat näytetään kuvan 12 mukaisesti.

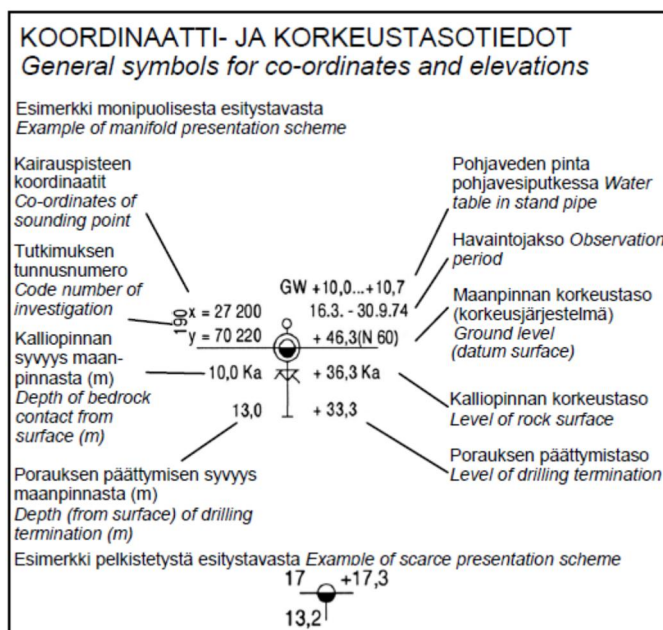
Pohjatutkimusten perusteella arvioidut maalajien rajat merkitään katkoviivalla. Tarkasti tiedossa olevat rajat kuten esimerkiksi todettu kalliopinta merkintään ehyellä viivalla.

## MAALAJI RAJAT Boundaries for soil types

	Maanpinta, vesialueilla pohjan pinta <i>Ground surface, offshore bottom</i>
	Vesipinta <i>Water table</i>
	Tutkimustulosten perusteella arvioitu maalajiraja <i>Interpreted boundary of soil type</i>
	Tutkimustulosten perusteella arvioitu kalliopinta <i>Interpreted bedrock surface</i>
	Todettu kalliopinta <i>Verified bedrock surface</i>



















Kuva 12. Maalajirajat [18]

Pohjatutkimuksessa tehdyistä kairauksista merkitään pohjatutkimuskarttaan kuvan 13. mukaisesti koordinaatti- ja korkeustasotiedot.



Kuva 13. Koordinaatti- ja korkeustasotiedot [18]

Pohjatutkimustasokuvassa eri merkinnöillä pystytään näyttämään kuvan 14 mukaisesti millä tavalla kairaus on suoritettu sekä mihin kairaus on päättynyt.

KAIRAUKSET <i>Soundings</i>		KAIRAUSTEN PÄÄTTYMINEN <i>Termination of soundings or borings</i>	
	Porakonekairaus tangolla <i>Percussion drilling with rods</i>		Kairaus lopetettu määräsyvyyteen <i>Sounding terminated at the given depth</i>
	Tärykairaus <i>Exploratory drilling</i>		Kairaus päättynyt tiiviiseen maakerrokseen <i>Sounding terminated at dense soil layer</i>
	(pisto- tai lyöntikairaus) <i>(light penetrometer sounding)</i>		Kairaus päättynyt kiveen tai lohkareeseen <i>Sounding terminated at an estimated cobble or boulder</i>
	Painokairaus <i>Swedish weight sounding test</i>		Kairaus päättynyt kiilautumalla kivien tai lohkareiden väliin <i>Sounding terminated with wedging between stones and boulders</i>
	Puristinkairaus <i>Cone penetration test</i>		Kairaus päättynyt kiveen, lohkareeseen tai kallioon <i>Sounding terminated at cobble, boulder or bedrock contact</i>
	Heijarikairaus <i>Dynamic probing test</i>		Kairaus päättynyt kallioon, varmistettu kallio <i>Sounding terminated at bedrock contact, verified rock</i>
	Puristinheijarikairaus <i>Static-dynamic penetration test</i>		Kallion pinta havaittu koekuopalla <i>Rock surface verified with test pit</i>
	Siipikairaus <i>Vane test</i>		
	Putkikairaus <i>Casing drilling</i>		
	Kallionäyttekairaus - kaltevuus vaakatasosta - reiän suunta (= nuolen suunta) - reiän pituus vaakatasoon projisoituna (= nuolen pituus)		<i>Diamond core drilling</i> - horizontal inclination - direction of borehole (= arrow direction) - length of borehole in projection (= length of arrow)

Kuva 14. Kairauksen suoritus tapa sekä kairauksen päättyminen [18]

### 3.5 Pohjatutkimuslausunto

Pohjatutkimusten jälkeen geotekninen suunnittelija tekee tutkimustulosten pohjalta pohjatutkimuslausunnon. Pohjatutkimuslausunnon sisältö riippuu paljon kohteen vaativuudesta ja käytettävissä olevasta pohjatutkimustiedosta. Pohjatutkimuksessa esitetään mitkä tiedot ovat tarkkoja ja mitkä tiedot ovat johtopäätöksiä saaduista tutkimustuloksista. Pohjatutkimus lausunnossa tuodaan esille tehdyt tutkimukset ja pohjaolosuhteet. Geotekninen suunnittelija esittää pohjatutkimuksessa perustustavan ja alapohjan rakenneratkaisun; arvioi maapohjan kantavuuden ja tarvittaessa tuo esille käytettävät paalutyypit ja niiden kapasiteetit; tuo esille mahdolliset painuma-arvot; louhinnan tarpeellisuuden; kaivantojen tukemisen; pohjavedenpinnan korkeuden; kuivatusratkaisut, kuten salaojien käytön, työnaikaiset kuivatusratkaisut, kapillaarikatkojen käytön perustusten yläpinnassa jos salaojat nousevat anturoiden alapinnan yläpuolella sekä hulevesien poiston tontilta; piha-alueiden rakennetyypit, kuten esimerkiksi pysäköintialueille tulevat täyttökerrokset; radonin esiintymisen maaperässä; pohjarakennustyöhön liittyvät toimenpiteet, maapohjan routivuuden; salaojakerrosten paksuudet ja putkien kantatuksen.



## 4 Rakennesuunnitelmat ja eri perustusratkaisujen suunnittelu

Rakennesuunnittelija esittää suunnitelmapiirustuksissa pääsääntöisesti rakennuksen kantavat rakenteet. Perustussuunnittelua varten rakennesuunnittelija laskee talorakennukselta tulevat kuormitukset ja määrittelee perustusrakenteille rasitusluokat. Perustustapa määritetään pohjatutkimuksen perusteella.

### 4.1 Rakennepiirustukset, yleiset ohjeet ja merkinnät

Rakennetasopiirustuksissa tuodaan esille mm. kantavien rakenteiden materiaalit, dimensiot, sijainnit, kuormat ja elementtitunnukset. Arkkitehti esittää talonrakennuksen kerrosten tasopiirustukset ylhäältä alaspäin katsoen ja rakennesuunnittelija esittää vastaavat tasopiirustukset peilikuvana alhaalta ylöspäin katsoen. Poikkeuksen rakennetasokuvien katselusuuntaan tekevät perustus-, rauditus- ja vesikattotasopiirustukset, jotka katsotaan myös rakennekuvissa ylhäältä alaspäin. Se miltä leikkaustasolta rakennetasopiirustus esitetään, valitaan sen mukaan, mikä nähdään tarpeelliseksi. Valitaan leikkaustaso siten, että siinä näkyy kaikki rakennuksen kantokykyyn vaikuttavat asiat, kuten seinät, pilarit, tasolaatat, palkit, aukot ja reiät. Rakennetasopiirustuksien lisäksi laaditaan rakenneosapiirustukset ja kaaviot kaikista valmisosarakenteista kuten betonielementeistä ja ristikoista, tehdään rakenneleikkauksia ja tarkempia detaljeja havainnollistamaan ja täydentämään tasopiirustuksia. Rakennesuunnittelija suunnittelee rakennusosittain käytettävät rakennetyypit. Rakennesuunnittelija laatii rakennejärjestelmäselostuksen sekä tarvittavat työselostukset mm. perustuksista, paikalla valuista ja elementeistä. Rakennesuunnittelijan tulee huolehtia myös työturvallisuuden suunnittelusta rakenteelliselta kannalta sekä siitä, että kohteeseen on tehty rakennesuunnittelun vaaratekijöiden arviointi ja tarkastuslista vastuunjakotaulukoineen. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelossa RAK12:sta (RT 10-11128) on määritelty tavanomaiseen talonrakennushankkeeseen liittyen rakennesuunnittelijaa koskevat tehtävät sisältöineen ja laajuustietoineen. Tehtäväluetteloa hyödynnetään hankekohtaisesti ja se liitetään suunnittelusopimukseen.

Rakennetasokuvissa voidaan kirjaintunnuksilla tuoda esille selityksettä asioita. Alla on listattu yleisimpiä lyhenteitä ja niiden merkityksiä:

B = kokonaisleveys

L = kokonaispituus

H = kokonaiskorkeus

d, D,  $\varnothing$  = ympyrän halkaisija

r, R = ympyrän säde

hl = teräsbetoniastian tai anturan korkeus

t = paksuus (esim. levy)

ap = alapinta

yp = yläpinta

ls = liikuntasäula

mp = molemmissa pinnoissa

vt = vaakateräs

pt = pystyteräs

al = aluslevy

Rakennetasokuvissa merkityt erilaiset viivatyyppit merkitsevät eri asioita, alla listattu yleisimmät eri viivatyyppien merkitykset:

EHYT VIIVA 

- Näkyvä pinta

KATKOVIIVA 

- Näkyvän pinnan takana oleva pinta

PISTEKATKOVIIVA, LYHYET VIIVAT 

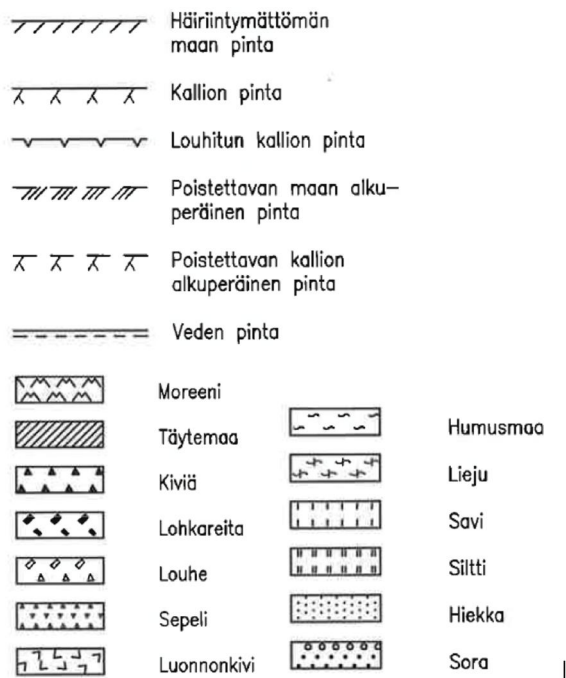
- Leikkaustason etu- tai yläpuolella oleva pinta

PISTEKATKOVIIVA, PITKÄT VIIVAT 

- Keskiiviiva, symmetria-akselit ja tasot
- Leikkauksen paikantava viiva

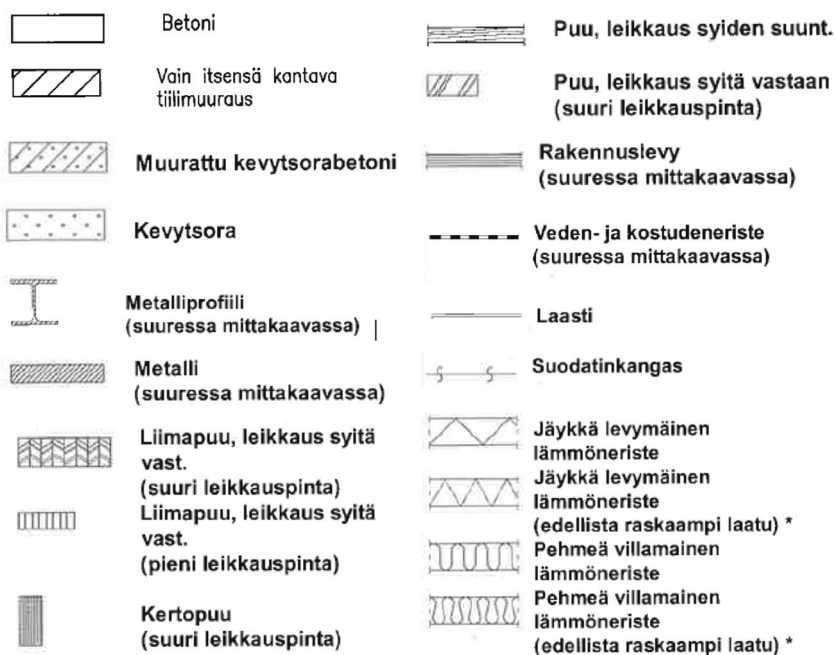


Rakenneleikkauksissa esitettäviä yleisiä maa-ainesten leikkausmerkintöjä on esitetty kuvassa 16.



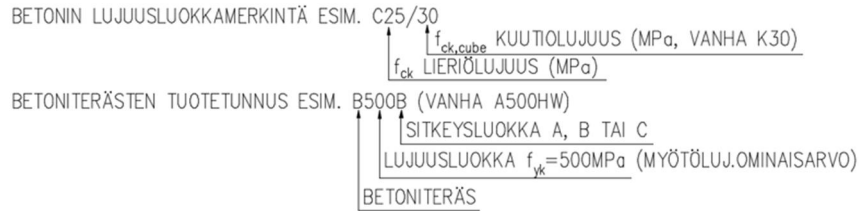
Kuva 16. Rakenneleikkauksissa olevia maa-aineksen leikkauspintamerkintöjä [19]

Rakennusmateriaalit voidaan näyttää rakenneleikkauksissa kuvan 17 mukaisesti.



Kuva 17. Yleisimpiä rakennusmateriaalien leikkausmerkintöjä [19]

Tasokuvissa ja leikkauksissa merkitään betoni ja raudoitukset tarkasti määritellyllä tavalla. Kuvassa 18 on näytetty betonin lujuusmerkintätapa ja yleisimpiä betoniterästen merkintöjä.



PIIRUSTUKSESSA ESITETTÄVÄ KIRJAIN BETONITERÄKSELLE:

T (BETONITERÄS) = B500B (SFS 1300) (VANHA MERKINTÄ A500HW)

K (VERKKO) = B500A (SFS 1300)

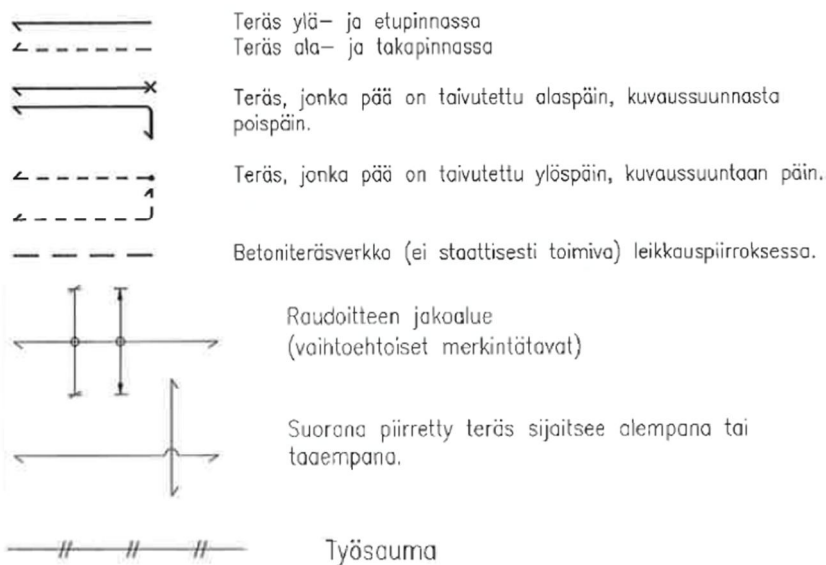
E (RUOSTUMATON BETONITERÄS) = B600KX (SFS 1259 → B600XA -1.4301)

TERÄSTEN MERKINTÄTAPOJA:

5-T10-L3000 = 5KPL T10 HARJATANKOJA JOIDEN PITUUS ON 3000mm

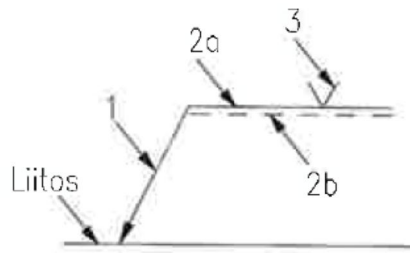
T10-#150 = BETONITERÄSVERKKO, JONKA RISTIKKÄIN ASETETTAVIEN TERÄSTANKOJEN T10 KESKIÖVÄLI ON 150mm

UH-T10-k300 = UMPIHAKA T10 300mm VÄLEIN



Kuva 18. Betonin lujuusmerkintätapa sekä yleisimmät betoniterästen merkinnät [19]

Piirustuksissa käytettäviä hitsausmerkinnöille on olemassa myös tarkka ohjeistus. Talonrakentamisessa käytetyt yleisimmät hitsausmerkinnät on esitetty kuvissa 19, 20 ja 21. Hitsausmerkinnöille löytyy eri lähteistä tarkempia ohjeita, kuten Unto Sahamiehen tekemä ohje hitsausmerkinnöistä talonrakentamisessa, johon on viitattu lähteessä 20. Kuvassa 19 on esitetty yleisohje hitsausmerkintään.



1 = Viitenuoli

2 = Merkintäviiva, koostuu kahdesta viivasta ehyestä (2a) ja katkoviivasta (2b).

Symmetrisillä hitseillä katkoviiva jätetään pois.

3 = Hitsausmerkinnät

Lisäksi hitsiin voidaan merkitä mitat ja täydentävät merkinnät.

Kuva 19. Hitsausmerkinnän selitykset [19]

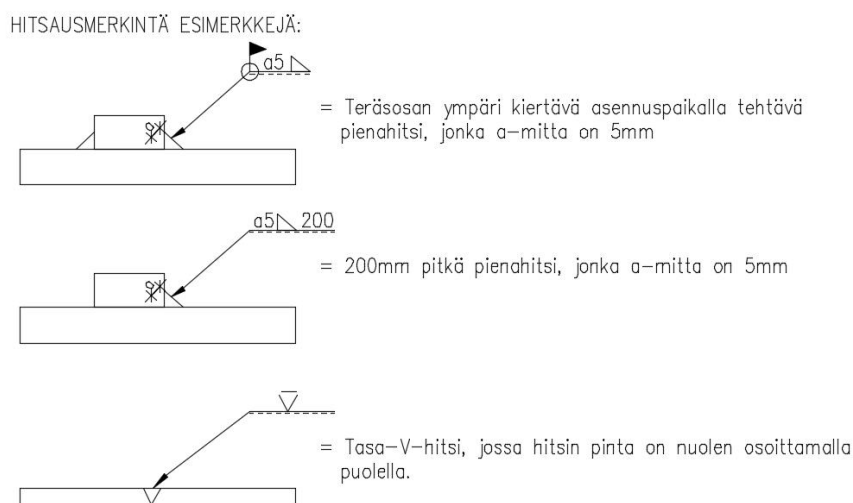
Erilaisille hitsityypeille on olemassa omat merkintä tapansa. Kuvassa 20 on esitetty yleisimmät tavat merkitä erityyppiset hitsit.

Hitsit	Liitoksen aksonometrinen kuva	Perusmerkki	
Pienahitsi			
I-hitsi			
V-hitsi			
Puoli-V-hitsi			
V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn V-railoon			
Puoli-V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn puoli V-railoon			
U-hitsi			Tasahitsi (yleensä viimeistely pinta)
J-hitsi			Kupuhitsi
Juurihitsi			Kouruhitsi
			Työmaahitsi

Kuva 20. Erityyppisten hitsien merkinnät [20]

Kuvassa 21 on näytetty esimerkein miten erilaisia hitsejä voidaan suunnitelmiin merkitä. Hitsiin merkittävällä a-mitalla osoitetaan kuvan 21 mukaisesti kuinka suuresta

hitsistä on kyse. Hitsien mitoittamiseen löytyy ohjeita esimerkiksi eurocodes.fi teräsrakenteet osion kautta.



Kuva 21. Hitsausmerkintä esimerkkejä

RIL 229-1-2013 Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeesta löytyy ohjeellista tietoa muun muassa rakennesuunnittelun sisällöstä osana rakennushanketta, suunnitteluasiakirjoista ja niiden laadinnasta, työselostuksista ja muista kirjallisista ohjeista, rakennesuunnittelun laskemien esityksestä ja yleisiä ohjeita rakennepiirustuksiin sekä tuoteosasuunnitteluun liittyen.

#### 4.2 Suunnitteluun vaikuttavat kuormitukset ja rajatilamitoitus

Talorakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että se kestää kaikki kuormat, jotka siihen sen käyttöänsä aikana voi kohdistua sekä rakennuksen on säilytettävä käyttökelpoisuutensa siihen mihin se on tarkoitettu. Talorakennuksen käyttöänsä aikaisia kuormia ovat esimerkiksi rakenteiden omat painot, rakennuksen hyötykuormat, lumi-kuormat, tuulikuormat, lämpötilakuormat ja toteuttamisen aikaiset kuormat. Talorakennuksen tulee kestää tulipalotilanteessa vaaditun ajan. Lisäksi talorakennuksen tulee kestää onnettomuustilanteita siten, ettei esimerkiksi törmäys tai räjähdys aiheuta siihen kohtuutonta haittaa onnettomuuteen nähden.

Pohjarakenteita suunniteltaessa tulee huomioida peruskuormitusten lisäksi geotekniset kuormat EN 1997-1 mukaisesti sekä huomioida siihen liittyvä kansallinen liite pohjara-

kenteistä. Geoteknisiä kuormia ovat esimerkiksi maanpainekuormat ja vedestä aiheutuvat rasitukset. Pohjarakenteet tulee suunnitella ja rakentaa siten, että varmistetaan niiden käyttöikää vastaava pitkäaikaiskestävyys, rakennuksen terveellisyys sekä estetään mahdolliset kosteusvauriot. Suunnittelijan tulee osoittaa, että jokaisessa geoteknisessä mitoitustilanteessa ei ylitetä kyseeseen tulevaa EN 1990:2010:ssä määriteltyä rajatilaa. Rajatilamitoituksessa käsitellään murtorajatilat ja käyttörajatilat erikseen, ja rajatilat tulee liittää eri mitoitustilanteisiin. SFS-EN 1997 liitteessä A sekä standardin kansallisessa liitteessä on määritelty osavarmuusluvut ja korrelaatiokertoimet murto- ja käyttörajatiloille. Geoteknisiin murtorajatilalaskelmiin sisältyy tasapainorajatila (EQU), rakenteen murtuminen tai liiallinen siirtymätila (STR), rakennuspohjan murtuminen tai liiallinen siirtymätila (GEO), veden nosteesta aiheutuva rakenteen tai maan tasapainon katoaminen (UPL) ja veden virtauksesta maakerroksissa aiheutuva hydraulinen murtuma tai eroosio (HYD). Geoteknisiin käyttörajatilalaskelmiin sisältyy siirtymätilat ja käyttöikämitoitus. Murtorajatilalaskennan osavarmuuslukujen yhdistämiseen on esitetty kolme erilaista mitoitustapaa. Mitoitustavat on määritelty tarkasti SFS-EN 1997-1 sivulta 32 alkaen. Suomessa käytetään mitoitustapaa 2 ja 3. Suomessa mitoitustapaa 2 käytetään esimerkiksi antura-, laatta- ja paaluperustusten, ankkureiden ja tukirakenteiden mitoituksessa. Suomessa käytetään mitoitustapaa 3 esimerkiksi luiskien ja kokonaisvakavuuden mitoituksessa. Mitoitustavassa 2 osavarmuuslukuja käytetään kuormiin tai kuormien vaikutuksiin ja maaperän kestävyuteen. Mitoitustapaa 2 käytettäessä voidaan tehdä laskenta kahdella erilaisella tavalla, DA2 tai DA2\*. Mitoitustavassa DA2 osavarmuusluvut kohdistetaan kuormien ominaisarvoihin laskelman alussa ja koko laskelma tehdään mitoitusarvoilla. Mitoitustavassa DA2\* laskelma tehdään ominaisarvoilla alusta alkaen ja osavarmuuslukuja käytetään vasta laskennan lopussa murtorajatailaehtoja tarkasteltaessa. Mitoitustavassa 3 osavarmuuslukuja käytetään kuormiin tai rakenteesta aiheutuvien kuormien vaikutuksiin ja maaperän lujuusparametreihin.

Geoteknisten suunnitteluvaatimusten määrittämiseen voidaan käyttää geoteknisiä luokituksia GL1 (pienet ja yksinkertaiset rakenteet), GL2 (tavanomaiset rakenne- ja perustustyypit, ei vaikeita maaperäolosuhteita tai kuormitustapauksia) ja GL3 (muut rakenteet, poikkeavat riskit). Näiden avulla voidaan määrittää vähimmäisvaatimuksia esimerkiksi geoteknisille tutkimuksille, suunnittelutehtäville ja laskelmille sekä valvonnalle sen mukaan kuinka geoteknisesti vaativasta kohteesta on kyse. Geotekniset luokat on määritelty tarkemmin SFS-EN 1997-1:ssä.

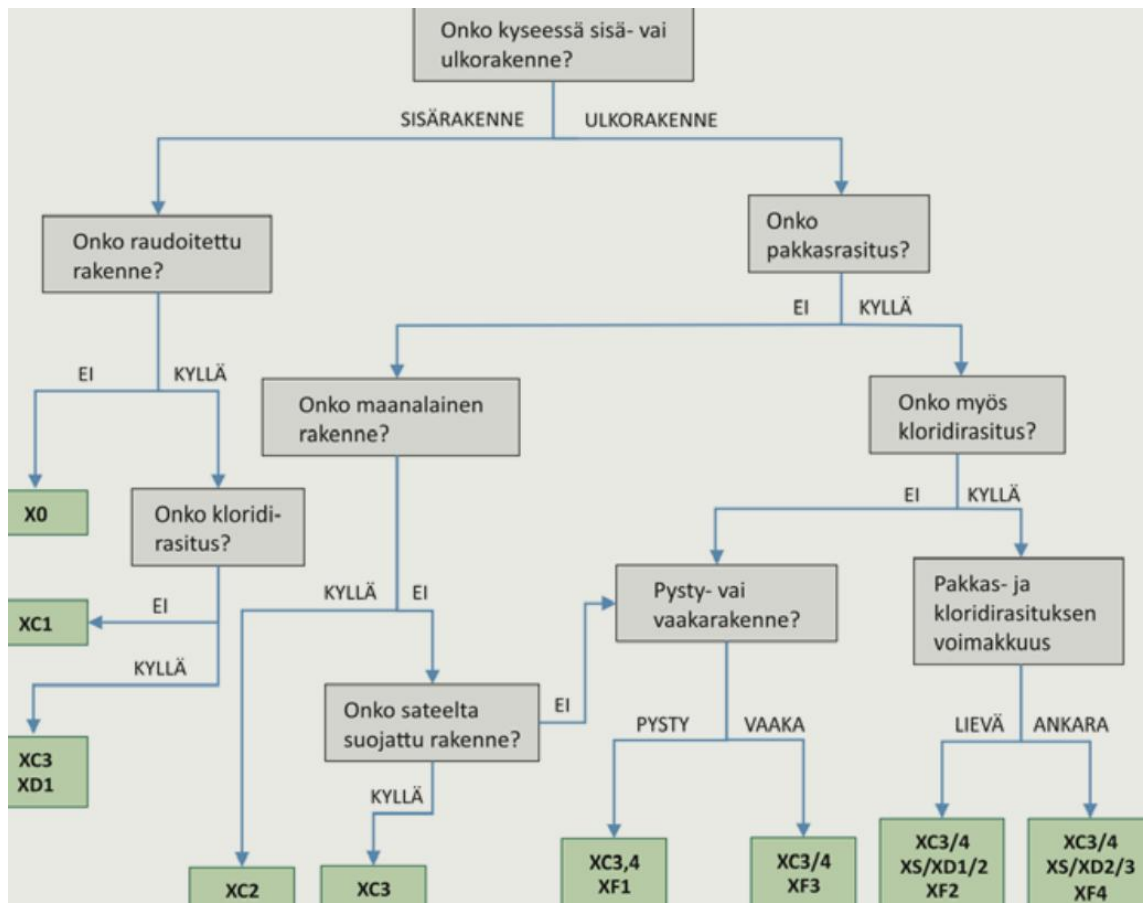


Eurokoodin suunnitteluperusteissa SFS-EN 1990 esitetään rakenteiden varmuutta, käyttökelpoisuutta ja säilyvyyttä koskevat periaatteet ja vaatimukset. Esimerkiksi SFS-EN 1990 liitteessä A1 sivulla 86 esitetään sääntöjä ja menetelmiä, joiden mukaisesti tulee muodostaa rakennuksiin soveltuvia kuormitusyhdistelmiä. Suunnittelijan täytyy esimerkiksi perustuksia suunniteltaessa löytää eri kuormitustapauksista mitoittavin tilanne, jolla anturat lasketaan. Kuormitukseen liittyvät eurokoodit ovat EN 1991-1-1..7. Eurokoodissa tulee lisäksi huomioida kansalliset liitteet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL on myös julkaissut ohjeen suunnitteluperusteisiin ja rakenteiden kuormiin, RIL 201-1-201 Eurokoodi, RIL 201-2-2017 Eurokoodi, RIL 201-3-2013 Vesirakenteet ja RIL 201-4-2017 Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteessa. Betonirakenteiden suunnitteluohjeessa RIL 202-2011/by 61 on myös esitetty mm. materiaaliosavarmuuskertoimet ja mitoitusarvoja betonille ja teräkselle. Lisäksi betonirakenteiden liitosten mitoitukseen onnettomuuskuormille on olemassa betoninormikortti 23.

#### 4.3 Perustusrakenteiden säilyvyysuunnittelu

Betonirakenteen ikääntymiseen vaikuttavat mm. betonin lujuusluokka, vesimenttisuhte, betonin lisäaineet, raudoitetyyppi, betonipeitteen paksuus ja ulkoiset rasitukset. Kantavat betonirakenteet määritellään yleisesti joko 50 tai 100 vuoden käyttöiälle. Tällä käyttöiällä tarkoitetaan käytännössä ajanjaksoa, jonka aikana betonirakenne kestää ilman korjausta huomioiden, että sitä huolletaan. Rakennuskohteen tilaaja määrittelee kohteelle tavoiteikänsä mm. kohteen käyttötarkoituksen mukaan, joka toimii suunnittelijalle lähtötietona betonirakenteiden säilyvyyden suunnittelulle. Betonirakenteiden säilyvyysuunnitteluun kuuluu määrittellä betonirakenteelle suunnittelukäyttöikä sekä rasitusluokka. Suunnittelukäyttöiän saavuttamiseksi suunnittelija valitsee betonirakenteelle tarvittavat laatuparametrit, sallitun halkeamaleveyden (Eurokoodi, Betonirakenteiden kansallinen liite s.21 sekä viite 21 s.23-24), betonipeitteen raudoitukselle, määrittelee rakennemitat ja muut käyttöikään vaikuttavat tekijät. Suunnittelija määrittelee betonirakenteelle rasitusluokan ympäristöolosuhteiden mukaan. Betonirakenteelle aiheutuvia ulkoisia rasitustekijöitä ovat karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio (XC0 - XC4), kloridien aiheuttama korrosio (XD1 – XD3), kloridien aiheuttama korrosio merivedestä (XS1 – XS3), jäätymis- ja sulamisrasitus (XF1 – XF4) sekä kemiallinen rasitus (XA1 – XA3). Betonirakenne voi olla samanaikaisesti monessa eri

rasitusluokassa. [21, s.15-24] Kuvassa 22 on näytetty yksinkertaistettu valintaprosessi betonirakenteen rasitusluokalle.



Kuva 22. Yksinkertaistettu valintaprosessi betonirakenteen rasitusluokalle [22]

Kuvassa 23 on määritelty erilaisten rasitusluokkayhdistelmien selitykset. Tyypillinen rasitusluokkamerkintä perustuksille on XC2, ryömintätalallisen alapohjatilan perusmuurien ja palkkien rasitusluokka on yleensä XC3 ja esimerkiksi talorakennuksen sokkelin ulkopinnan rasitusluokka on tyypillisesti XC3,4; XF1.

Rasitusluokka-yhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteen kuivissa sisätiloissa
XC1	Raudoitetut rakenteet kuivissa sisätiloissa
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy erittäin kosteana
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen)
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC4; XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF2; XD1	
XC3,4; XF2; XD1	
XC3; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole käytännössä merkitystä
XC4; XF4; XD2	
XC3,4; XF4; XD2	
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne

Kuva 23. Rasitusluokkayhdistelmien selitteitä [22]

Rasitusluokkien kautta määräytyvät vähimmäislujuus betonille (ks. SFS 7022 Taulukko 3-FI ja Taulukko 4-FI), tarvittavat betonipeitteet raudoitukselle sekä ne asettavat vaatimuksia betonin koostumukselle. Raudoituksen vaadittu betonipeite  $c_{nom}$  on mittapoikkeaman  $\Delta c_{dev}$  ja betonipeitteen vähimmäisarvon  $c_{min}$  summa, ks. kaava 5. [23, s.49.] Jos valetaan veden alla, tulee terästen betonipeitteen olla vähintään 50 mm.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (5)$$

Mittapoikkeama  $\Delta c_{dev}$  on paikalla valetuilla rakenteilla ja elementeillä yleensä 10 mm. Elementtirakenteilla mittapoikkeama voi olla pienempi kuin 10 mm erilaisten laadunval-

vonta määritysten kautta, mutta pienempää mittapoikkeamaa kuin 5 mm ei sallita. Betonipeitteen  $c_{min}$  vähimmäisarvon tulee olla niin suuri, että pystytään takaamaan terästen tartuntavoimien siirtyminen, terästen säilyvyys korroosiota vastaan sekä tarvittava rakenteellinen palonkestävyys. Betonipeitteen vähimmäisarvo  $c_{min}$  on suurin arvoista:  $c_{min,b}$ ,  $c_{min,dur}$  tai 10 mm, ks. kaava 6. [23, s.49.]  $c_{min,dur}$  arvo on määritelty tarkemmin SFS-EN 1991-1-1 s.49.  $c_{min,dur}$  arvoon liittyy lisämääriä, mutta koska näiden laskentaan liittyvien lisämääreiden suositus arvot ovat nolliä, voidaan sen arvona käyttää suoraan ympäristöolosuhteista johtuvaa betonipeitteen arvoa.

$$c_{min} = maks \begin{cases} c_{min,b} \\ c_{min,dur} \\ 10mm \end{cases} \quad (6)$$

$c_{min,b}$  = tartuntavaatimuksesta johtuva betonipeitteen nimellisarvo

$c_{min,dur}$  = ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo

$c_{min,b}$  on yhdellä tangolla vähintään ankkuroitavan tangon halkaisija suuruinen ja tankonipuilla vähintään ekvivalenttihalkaisijan suuruinen, katso kaava 7 ja 8 [24, s.50 ja 142]. Kiviaineksen nimelliskoon ollessa yli 32 mm, betonipeitteen  $c_{min,b}$  arvoa tulee kasvattaa 5 mm.

$$c_{min,b} = \phi \quad \text{Yksittäiselle tangolle} \quad (7)$$

$$c_{min,b} = \phi_n = \phi \sqrt{n_b} \leq 55mm \quad \text{tankonipuilla} \quad (8)$$

$\phi_n$  = tankonipun ekvivalenttihalkaisija

$n_b$  = tankonipussa olevien tankojen määrä

Betonipeitteen ympäristöolosuhteiden mukainen vähimmäisarvo vaatimus  $c_{min,dur}$  on esitetty taulukossa. 2.

Taulukko 2. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset (käyttöikä 50 tai 100 vuotta) [24, s.17]

Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm) eri ympäristöolosuhteissa							
Kriteeri	Rasitusluokka standardin SFS-EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan						
	X0	XC1	XC2	XC3, XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5

**Huomautus 1.** Tartuntajänteille, joiden pitkäaikainen jännitys käyttörajatilassa on korkeintaan  $400 \text{ N/mm}^2$ , sovelletaan betoniteräkselle asetettuja vaatimuksia.

**Huomautus 2.** Betonipeitteen vähimmäisarvoa voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonin lieeriölujuus on vähintään 10 MPa suurempi kuin säilyvyyden kannalta vaadittava vähimmäislieeriölujuus.

**Huomautus 3.** Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset koskevat myös jänneterästen ankureita ja valuun asennettavia metalliosia ellei niitä ole korroosiosuojattu rasitusluokkaa vastaavasti.

**Huomautus 4.** Betonin säilyvyyden tulee myös muilta osin täyttää 100 vuoden käyttöikävaatimus, mikäli rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta

Silloin kun betonia valetaan epätasaisempaa pintaa vasten, kuten esimerkiksi anturoiden tapauksessa valettaessa maapohjaa vasten, voidaan sallia suurempia mittapoikkeamia. Tällöin betonipeitteen nimellisarvo voidaan laskea ala olevien kaavojen mukaan [21, s.23]:

$$C_{nom} = C_{min} + 10\text{mm} \geq 20\text{mm} \quad (\text{tasausbetoni tai kova eriste}) \quad (9)$$

$$C_{nom} = C_{min} + (\Delta C_{dev})\text{mm} \quad (\text{muissa tapauksissa}) \quad (10)$$

$\Delta C_{dev}$  on näytetty kuvassa 24.

Alustan laatu	$\Delta c_{dev}$
Tasattu ja tiivistetty hiekka tai sora ja lineaariset raudoitusvälkkeet	20 mm
Tasattu ja tiivistetty hiekka tai sora ja pistemäiset raudoitusvälkkeet	30 mm
Tasattu, mutta tiivistämätön hiekka tai sora ja lineaariset raudoitusvälkkeet (esim. paalulaatta)	30 mm
Tasattu, mutta tiivistämätön hiekka tai sora ja pistemäiset raudoitusvälkkeet (esim. paalulaatta)	40 mm

Kuva 24. Suositusarvot  $\Delta c_{dev}$  määreelle, kun valetaan maata vasten rasitusluokassa XC2 ja suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta [21, s.23].

#### 4.4 Perustamistavat ja niiden suunnittelu

Perustusten tarkoituksena on siirtää rakennukselta tulevat kuormitukset maaperään. Pohjatutkimuksen perusteella tiedetään paremmin perustettavan maaperän ominaisuudet, ja voidaan valita perustustapa ja alapohjan rakennetyyppi. Rakennus voidaan perustaa mm. maanvaraisesti, kallion päälle tai paalujen varaan. Kuvassa 38 on näytetty esimerkkejä erilaisista perustamistavoista. Eri maaperäolosuhteilla käytetään erityyppisiä perustamistavoita. Kantavalla rakennuspohjalla rakennus voidaan perustaa maanvaraisten anturoiden varaan ja käyttää maanvaraista tai ryömintätilaista alapohjaratkaisua. Kellarillinen alapohja tulee yleensä kysymykseen rinnetontilla. Maanvaraisilla pilarianturoilla ja alapohjan pilareilla ja palkeilla kannateltu ryömintätilainen kantava alapohja tulee yleensä kyseeseen, kun perustamistasot vaihtelevat. Kun maaperä on pehmeää, kuten savimailla, käytetään paaluperustusta ja kantavaa maata vasten valettua teräsbetoni-laattaa tai ryömintätilaista kantavaa alapohjaa. Kantava alapohja voidaan toteuttaa esimerkiksi ontelolaatoilla sokkeli- ja alapohjapalkkien varaan, jotka taas tukeutuvat tässä tapauksessa paaluanturoihin. Laattaperustusta voidaan käyttää pehmeillä ja tasaisilla rakennuspohjilla, jolloin kuitenkin tulee huomioida rakenteen ja maapohjan yhteisvaikutus. Kun käytetään laattaperustusta ja kevennystäyttöä huonosti kantavalle maalle, esim. savipitoisiin maihin, tulee huomioida, että rakennuksen ja esimerkiksi kevytsoratäytön paino ei saa ylittää maapohjasta kaivetun maa-aineksen painoa, jotta maaperän kantokestävyyttä ei ylitä. Maapohjan kuormitus pysyy tällöin ennallaan. Tämä perustamistapa soveltuu lähinnä pientaloille.

Rakennus olisi suositeltavaa perustaa kokonaan saman perustustavan mukaan johtuen eri perustamistapoihin liittyvistä painumaeroista. Jos koko rakennusta ei pystytä perustamaan samalla perustusratkaisulla, tulee miettiä rakenteellisia liikuntasauvoja eri perustustapojen välillä. Liikuntasauva tarvitaan lähes poikkeuksetta maanvaraisen ja paalutetun perustuksen välille, mutta paaluperustuksen ja kallion välisten perustusten kohdalla voi harkita liikuntasauhasta luopumista. Liikuntasauvalinja tulee katsoa siten, että se sopii hyvin sekä perustustasolle, että rakennukselle.

Perustussuunnittelussa on kaksi erillistä suunnittelun osa-aluetta, geotekninen osa sekä rakennetekninen osa. Geoteknistä suunnittelua käsitellään eurokoodissa SFS-EN 1997: Eurokoodi 7 ja siihen liittyvässä kansallisessa liitteessä. Kappaleessa 3.3.6 on myös käsitelty anturan kantavuutta geotekniikan kannalta. Geoteknisessä suunnittelussa mitoitetaan anturan mitat ja korkeusasema sekä suunnitellaan maapohjan kantavat kerrokset. Maapohjan pitää kestää siihen tulevat kuormitukset murtumatta (MRT), eivätkä perustukset saa painua tai siirtyä haitallisesti (KRT). Rakenneteknistä suunnittelua käsitellään eurokoodissa SFS-EN 1992: Eurokoodi 2 ja sen kansallisessa liitteessä. Rakenneteknisessä perustusten suunnittelussa mitoitetaan perustukset siten, että ne kestävät murtumatta niihin kohdistuvat rasitukset (MRT) ja halkeamat ja muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa (KRT). [25, s.179.]

Perustussuunnittelun alussa rakennesuunnittelija antaa geotekniselle suunnittelijalle oletetun perustussyvyyden ja kuormitukset rakennukselta. Tämän pohjalta rakennetekniseen mitoitukseen saadaan geoteknisestä suunnittelusta anturan pohjämitat, mutta anturan korkeus tulee rakenneteknisen mitoituksen mukaan. Usein kuitenkin edetään siten, että geotekninen suunnittelija antaa rakennesuunnittelijalle otaksutun maapohjan kantokestävyyden, jonka mukaan rakennesuunnittelija määrittelee perustusten mitat. Rakennetekniseen perustusten mitoitukseen kuuluu lisäksi anturoiden raudoituksen ja betonin lujuuden valinta. Laattaperusteilla ja muilla taipuvilla perustusrakenteilla tulee huomioida rakenteen ja maapohjan yhteisvaikutus, jolloin geo- ja rakenneteknistä osa-aluetta ei voi erottaa toisistaan [25, s.179]. Perustuksien suunnitteluun eurokoodien mukaan löytyy Betoniteollisuuden ohje eurocodes.fi -nettisivuston kautta: Osa 6 Perustukset.

#### 4.4.1 Maanvaraiset perustusrakenteet

Perustettaessa maanvaraisesti suositellaan perusmuurianturan minimi leveydeksi 30 cm ja pilarianturan minimikooksi 40 cm x 40 cm. Perustamissyvyudeksi suositellaan ulkoseinälinjoilla vähintään 50 cm. [1.] Maanvaraisten perustusten korkeusero anturoiden välissä tai perusmuurin pituuskaltevuudessa ei tulisi olla suurempi kuin 1:3 [26, s.41]. Tällä varmistetaan muun muassa se, että ylemmän anturan rasiukset eivät siirry alemmalle anturalle. Pilari- sekä jatkuva antura voidaan suunnitella raudoittamattomana tai raudoitettuna rasiuksien mukaan. Jos jatkuva antura, kuten seinäantura, suunnitellaan raudoittamattomana, tulee siihen kuitenkin laittaa pituussuuntainen raudoitus rajoittamaan kutistumishalkeamia. Jos pystysuuntaisella normaalivoimalla kuormitettu seinä- tai pilariantura suunnitellaan tai rakennetaan raudoittamattomana, eikä osoiteta tarkemmin, tulee alla olevan ehdon toteutua [23, s.193]:

$$\frac{0,85h_F}{a} \leq \sqrt{\frac{3\sigma_{gd}}{f_{ctd,pl}}} \quad (11)$$

Kaavan yksinkertaistuksena voidaan pitää  $h_F/a \geq 2$

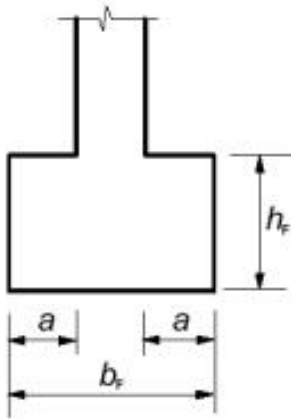
$h_F$  = anturan korkeus

$a$  = anturan päälle tulevan pystyosan ja anturan ulkoreunan välinen etäisyys, ks.kuva 25.

$\sigma_{gd}$  = pohjapaineen mitoitusarvo

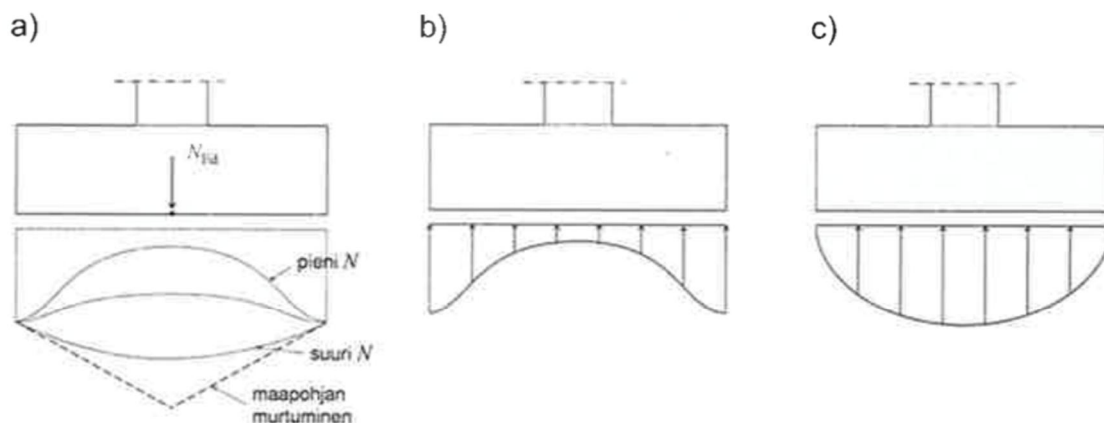
$f_{ctd,pl}$  = betonin vetolujuuden mitoitusarvo





Kuva 25. Raudoittamattomaan anturaan kuuluvat merkinnät [23, s.194].

Maanvaraisista laattaperuksista puhuttaessa tarkoitetaan perusratkaisua, jossa yhtenäisen perustuslaatan päälle kannatetaan koko rakennusta tai jotain tiettyä sen osaa. Anturoiden rauditus ja korkeus lasketaan anturan alle muodostuvan pohjapaineen kautta. Pohjapaineen jakauma riippuu anturan alla olevan maan laadusta ja anturan jäykkyydestä ja kuormituksesta. Pohjapaineen jakaumaan vaikuttaa myös perustussyvyys sekä anturan viereisen alueen kuormitus. Kun mietitään anturan alle syntyvää pohjapaineen jännitysjakautumaa, on erotettava toisistaan murtorajatila sekä käyttörajatila sekä se, että onko anturan alla koheesiomaa vai kitkamaa [10, s.163]. Kuvassa 26 on näytetty kuormituksen vaikutus pohjapaineen jakautumiseen jäykän anturan alla sekä kuorman jakautuma hienorakeisilla sekä karkearakeisilla maa-aineksilla. Kuvan 26 kohdassa a) voi huomata, että pienellä kuormalla pohjapaine on suurempi anturan reuna-alueilla ja mitä enemmän kuorma kasvaa, sitä enemmän pohjapaine tasoittuu. Ennen maapohjan murtumista suurin pohjapaine on anturan keskialueella. [25, s.180.]



Kuva 1/9. Pohjapainejakautuma.  
 a) kuormituksen vaikutus pohjapaineen jakautumaan  
 b) jakautuma hienojakoisilla maalajeilla  
 c) jakautuma karkearakeisilla maalajeilla

Kuva 26. Pohjapaineen jakautuminen jäykän anturan alla [25, s.179]

Anturoiden raudoituksen laskennassa murtorajatilamitoituksen mukaan oletetaan pohjapaine tasan jakautuneeksi. Kuorman ollessa keskeinen ja anturan keskellä pohjapaine on tasan jakautunut koko anturan matkalla ja pohjapaineen resultantti on tällöin myös anturan keskellä. Epäkeskinen kuorma siirtää tämän pohjapaineen resultantin paikkaa ja esimerkiksi perustusten kantavuuslaskennassa voidaan ottaa huomioon vain se osa anturaa, jolle kuorma on keskeinen, ks. kuva 10 pinta-ala  $A'$ . Tällöin myös pohjapaine anturan alla kasvaa, koska kuormitus jakaantuu pienemmälle pinta-alalle ja tämä vaikuttaa tällöin myös anturan raudoituksen laskentaan. Kuormat lasketaan murtorajatilan (STR) määräävimmän kuormitustapauksen mukaan. Käyttörajatilamitoituksessa pohjapaine oletetaan taas suoraviivaiseksi. Epäkeskisellä kuormalla pohjapaine on suoraviivaisesti muuttuva. Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät (KRT) ovat samoja kuin muillakin teräsbetonirakenteilla. Kuitenkin on huomioitava, että anturan mitoituksessa ei ole määritelty taipumarajoja. [25, s.180–182.] Anturat mitoitetaan palkkina tai laattana normaalin teräsbetonilaskennan mukaan. Maanvaraisten perustusten rakenneteknistä mitoitusta käydään läpi mm. 2014 vuoden Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjassa osassa 2 (by 211) sivulta 179 alkaen. Oppikirjassa on esitetty myös edellä mainittu pohjapaineen laskenta kuva esimerkein. Kyseisessä oppikirjassa on lisäksi laskentaesimerkkejä rakenneteknisestä perustusten mitoituksesta sekä seinäanturalle, että pilarianturalle. Maanvaraisen anturan laskennasta löytyy Excel-laskentapohja: SKOL\_B19\_Maanvarainen\_antura.

#### 4.4.2 Kalliolle perustaminen

Anturat voidaan tehdä suoraan luonnontilaisen kiinteän kallion päälle, rikkonaisen tai rapautuneen kallion päälle, louhitulle kalliopohjalle tai suoraan paikalleen räjäytetyn kallion kerroksen päälle tiivistäen ja tasaten. Kallio ei roudi eikä painuma ole yleensä ongelma. Yleensä kalliota joudutaan louhimaan. Kallion louhinnasta tehdään erillinen pohjarakennesuunnitelma. Jos kallio on perustustasolla kaltevampi kuin 15 astetta, perustamistasoa tulee tasoittaa, porrastaa tai käyttää kalliopultteja liukumisen estämiseksi. Jos kallion kantokestävyyden mitoitusarvoa laskettaessa käytetään kallion ominaisarvolle suurempaa kestävyuden arvoa kuin 8 MPa, kallion kantokestävyys tulee määritellä pohjatutkimuksen perusteella. Kun kallio on kokonaan rapautunut, sitä käsitellään suunnittelussa kuten tiivistä karkearakeista maa-ainesta. Suunnitellusti rikki-louhittua ja tiivistettyä kalliopohjaa käsitellään suunnittelussa kuten perustamista erittäin kantavalle maapohjalle. [1.] Kallionvaraisille anturoille sallitaan anturoiden välille jyrkempi kaltevuuskulma kuin 1:3, kunhan ylemmän anturan alapuolinen kallio on säilynyt ehjänä louhinnasta. Jyrkemmän kulman kuin 1:3 käyttö vaatii usein kuitenkin kallion lisätarkasteluja. Kuitenkaan jyrkempää kulmaa kuin 1:1 ei suositella käytettävän. [26, s.26–27.]

Suoraan kalliolle perustettaessa tulee varmistaa, että perustukset eivät pääse liikkumaan kalliolla esimerkiksi kuormituksen, alapohjan soratäyttöjen aikana tai kallion vinon pinnan vuoksi. Tämä voidaan varmistaa kallioon porattavilla ja juotettavilla kalliopulteilla. Näiden tarkoituksena on ottaa vastaan leikkausta ja estää anturoiden liukuminen kalliopinnalla. Kalliopultteja käytettäessä tulee varsinkin pysyviä rakenteita suunniteltaessa huomioida jättää korroosiovara. Korroosiovara jää, kun kallioon porataan vähintään 1,5 kertaa pultin halkaisijan kokoinen reikä, jolloin juotosbetonille jää tilaa pultin ympärille. Kallioankkureilla voidaan taas vastaavasti ottaa vastaan kuormituksesta aiheutuvia vetovoimia esimerkiksi tuulen rasittaman mastopilarin kohdalla. Vetoankkuria ei mitoiteta vain teräksen tartuntapituuden verran kallioon, sillä kallio voi olla niin rikkonainen, että kallio nousee vain teräsankkurin riiputtama lohkar. Vetoankkurin laskenta lähtee siitä, että vetoankkuri nostaa kallio nouseessaan kartiomaisen kallion kappaleen. Kartion kärkikulman oletetaan yleensä olevan 30 asteen kulmassa vetoankkuriin nähden. Kalliosta saatavan ankkurivoiman lasketaan olevan sama kuin tämän kallio kartion paino. Kallio kartio voi olla pohjaveden alapuolella, jolloin täytyy huomioida nosteen kallio kartiota keventävä vaikutus. Lisäksi jos käytetään useampia

vetoankkureita lähekkäin, tulee vähentää vetovoimakapasiteettia, jos ajatellut kallio kartiot leikkaavat toisiaan. [26, s.27-30.]

Kallionvaraisten perustusten tarkastelussa tulee huomioida lisämitoitustarkastelut SFS-EN 1997-1 kohdan 6.7 mukaan. SFS-EN 1992-1-1 on esitetty sivulla 164 milloin kallion varaiseen pilarianturaan tulee laittaa halkaisuraudoitus ja miten se mitoitetaan. Kallion varaisen anturan laskennasta löytyy Excel-laskentapohja: SKOL\_B16\_Kallionvarainen\_antura.

#### 4.4.3 Paaluperustukset

Paaluperustuksia käytetään silloin, kun pohjatutkimuksessa on selvinnyt maaperän olevan niin heikkolaatuista, että maanvaraisia anturoita ei voida käyttää mm. suurien painumien johdosta. Tällöin esimerkiksi tukipaalut lyödään kantavaan kerrokseen asti ja paalujen päälle tehdään paaluanturat, joiden päälle voidaan tehdä rakennus. Yleisesti talorakentamisessa käytetään teräsbetonisia lyöntipaaluja, mutta myös porattavat tai lyötävät teräsputkipaalut ovat yleistyneet. Paalun kantavuuteen vaikuttaa sekä maaperän, että paalun lujuus. Paalun pituussuuntainen kantavuus on siis yhtä suuri kuin pienempi arvoista, jotka saadaan geoteknisestä kantavuudesta tai paalun rakenteellisesta kantavuudesta. Paalun geoteknisellä kantavuudella tarkoitetaan mitoitusarvoa, jossa on huomioitu varmuus maapohjan murtumista vastaan sekä sallitut painumat. Paalun rakenteellisella kantavuudella tarkoitetaan mitoitusarvoa, jossa on huomioitu varmuus paalun rakenteellista murtumista vastaan sekä sallitut muodonmuutokset. [26, s.53.] Paaluperustusten suunnitteluun kuuluu sekä paalutuksen, että paaluanturoiden suunnittelu.

Paalut määritellään tukipaaluihin, kitkapaaluihin, koheesiopaaluihin ja välimuotopaaluihin. Tukipaaluilla kuorma viedään paalukärjen kautta kallioon (paalussa kalliojärki) tai kantavaan tiiviiseen maakerrokseen (paalussa maakärki). Kitkapaaluilla suurin osa kuormasta viedään kitkamaakerrostumaan paalun vaippapinnassa vaikuttavan kitkan kautta. Koheesiopaaluilla suurin osa kuormasta viedään koheesiomaakerrostumaan paalun vaippapinnassa vaikuttavan adheesion kautta. Välimuotopaaluilla kuormat viedään yhtä aikaa edellä mainituilla tavoilla. Geotekninen suunnittelija määrittelee geoteknisen luokan, paalutusluokan, käytettävän paalun sekä ilmoittaa käytettävän paalun kantokyvyn ja sivukapasiteetin. Osa paalun kantokyvystä saattaa kulua pehmeällä savikolla negatiivisen vaippahankauksen takia, joka huomioidaan paalun kantokykyä

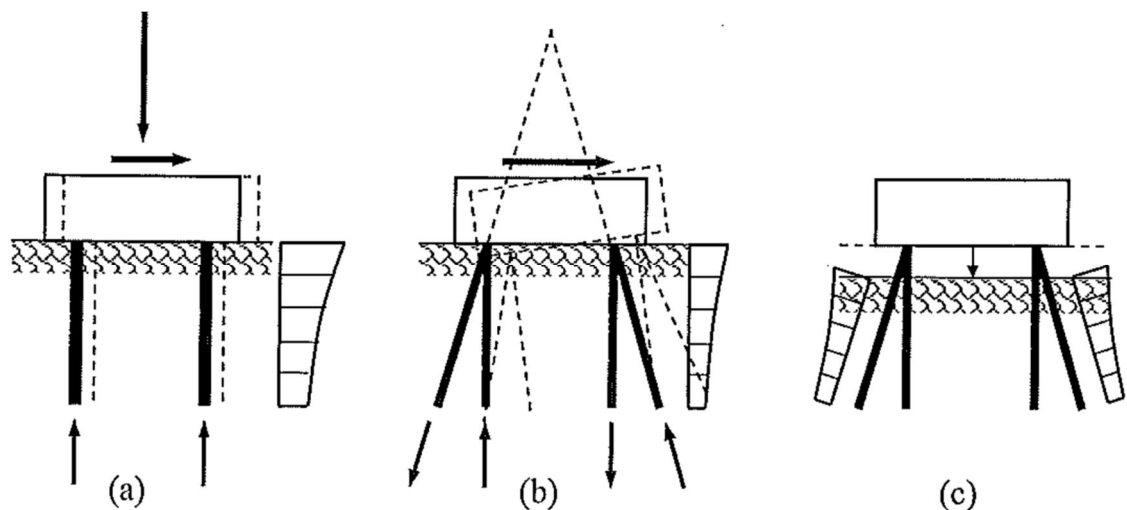
määritettäessä. Negatiivinen vaippahankaus syntyy, kun maa-aines paalun ympärillä painuu enemmän kuin paalu. Paalun lähellä oleva maa-aines, kuten savi tarttuu paaluun, eikä pääse painumaa vapaasti paalun lähellä muun painuvan saven mukana, jolloin kovassa pohjamaassa tuettuna oleva paalu rupeaa kantamaan maa-ainesta. Savimaan painuman voi tällaisessa tilanteessa aiheuttaa esimerkiksi sen päälle ajettu täytemaa, jonka päällä suoritetaan tukipaalaus. Rakennesuunnittelija laskee paalulle tulevan kuormituksen määrävimmän murtorajatilan kuormitusyhdistelmän mukaan.

Lyöntipaalut tulisi suunnitella siten, että ne ottavat vastaan vain paalun suuntaista puristuskormitusta. Vetopaalurakenteet täytyy tarkasti suunnitella, eikä esimerkiksi normaaleihin lyöntipaaluihin sallita vetorasituksia tai vetorasituksen tulee olla pienempi kuin paalun paino maa sisällä. Lyöntipaalutuksen periaatteena on, että alle 3 metrisiä paaluja ei tulisi suunnitella. Ehdoton minimi paalujen pituudelle on 1,5 m. Lyhyet paalut kiinnitetään anturaan jäykästi piikkaamalla niiden yläpäähän teräkset esiin ja liittämällä ne anturaraudoituksen joukkoon. Lyhyelle paalulle maaperästä tuleva sivutuki on pienempi kuin pitkälle paalulle. Lyhyet paalut ovat herkempiä hajoamaan kovaan pohjaan lyötessä niiden lyöntivaiheessa. Paaluilla katsotaan olevan riittämätön tuki nurjahdusta vastaan silloin, kun ne ovat osittain tai kokonaan ilmassa, vedessä tai maakerroksessa, jonka redusoitu, siipikairauksella määritetty suljettu leikkauslujuus on alle 20 kN/m<sup>2</sup>. Jos eloperäisen maa-aineksen suljettu leikkauslujuus on eloperäisessä maassa alle 5 kN/m<sup>2</sup>, sitä ei voi yleensä hyödyntää lainkaan sivutukena paalulle. [27, s.106].

Paaluryhmän suunnittelussa tulee huomioida pystykuormat, vaakakuormat ja momentti. Rakennesuunnittelija määrittelee kuormituksen mukaan, kuinka monta paalua paaluryhmään tarvitaan kantamaan tuleva kuormitus. Jotta paaluryhmä esimerkiksi mastopilarin alla kykenee ottamaan momenttia molempiin suuntiin, siihen tarvitaan vähintään 3 paalua. Paaluryhmissä paalut sijoitetaan symmetrisesti anturaan siten, että niiden keskinäinen painopiste sijaitsee anturaan tulevan kuorman resultantin kanssa samassa pisteessä. Esimerkiksi neljän paalun anturassa kaikki paalut ovat yhtä kaukana anturaan tukeutuvasta pilarista, jolloin pelkällä pystykuormalla jokaiselle paalulle tulee yhtä suuri kuorma. Alkuvaiheen suunnittelussa ei tule tehdä ratkaisuja, joissa paaluryhmän paalujen kapasiteetit ovat jo maksimissa. Tämä johtuu siitä, että paaluja ei saada lyötyä maahan niin tarkasti, että paaluryhmän painopisteen sijainti ei muuttuisi. Paaluryhmän ja kuormitusresultantin ero aiheuttaa eroja myös paaluryhmän paalujen kuormiin. Osa paalujen kuormista voi lisääntyä niin paljon, että tarvitaan lisäpaalutuksia, jos paaluissa ei ole mietitty kapasiteetteja siten, että ne kestävät ja sallivat PO-2016 mukaisen

paaluryhmän painopisteen siirtymisen 50 mm. Paalutuskuvaan merkitään sallitut sijainti poikkeamat paaluille. Nämä sijaintipoikkeamat tulee siis huomioida paalujen kuormituksessa. Pystypaaluryhmän painopisteen ja paalujen kuormien laskentaan löytyy ohje esimerkiksi Martti Rantamäen ja Markku Tammisen vuoden 1979 Pohjarakennusohjeista sivulta 66 alkaen [28]. Aiheesta on tehty myös opinnäytetöitä. Betoniteollisuus ry on julkaissut Eurokoodiin ja PO-2011-ohjeeseen perustuvan vakiopaaluanturat ohjeen, jossa on valmiiksi mitoitettuna yleisimmät paaluanturakoot. Ohjeessa esitetään erikoisille teräsbetonipaaluille ja mitoituskuormille omat anturan mitat, paalujen sijoitukset, anturan pääraudoitukset sekä mahdolliset lisäraudoitukset.

Paaluryhmään vaikuttaa myös vaakasuora kuormitus. Kuvassa 27. on näytetty 3 päätapausta, joissa paalujen sivukestävyys on otettava huomioon [29]. Kuvan 27. kohdassa a) pieni vaakakuorma otetaan vastaan pystysuorilla paaluilla ja siirretään sivusuunnassa maaperään, kohdassa b) vaakakuorma otetaan vastaan yksittäisillä paaluryhmän paaluilla ja kohdassa c) maaperästä tuleva passiivinen kuormitus, esim. maaperän vajoaminen aiheuttaa vinopaaluille kuormitusta. Edellä mainittua paalujen sivukestävyyttä on tarkasteltu ruotsalaisen Pålkommissionen tekemässä raportissa, jonka avulla aiheeseen ja siihen liittyvään laskentaan voi syventyä tarkemmin. Lähteeseen on viitattu viitteessä 29.

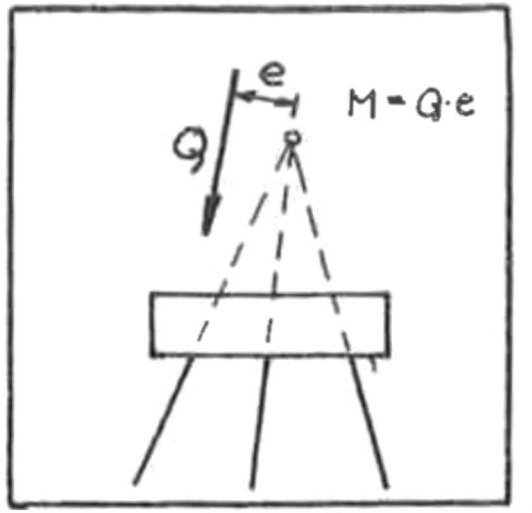


Kuva 27. Kolme päätapausta, jossa paalujen sivukestävyys on otettava huomioon. [29]

Teräsbetonipaalujen sivuttaiskallistus on yleensä maksimissaan 4:1 johtuen mm. eri paalutuskoneiden rajoitteista sekä siitä, että kovin suuresti kallistettua paalua alkaa taivutusrasittamaan mm. maaperän painuminen paalun päällä. Geotekninen suunnitte-

lija määrittää yleensä paalun maksimikallistuskulman. Jos talorakennuskohteessa tarvitsee käyttää vinopaaluja, on suositeltavaa tehdä koko rakennuskohteesta laskentamalli, johon liitetään paalut osaksi rakennemallia. Laskentamalli mahdollistaa monien eri asioiden huomioon ottamisen, kuten pitkien paalujen painuman ja sen vaikutuksen yläpuoliseen rakenteeseen. Jos erisuuntaisia paaluja sisältävä paaluryhmä lasketaan käsin, paaluryhmä ajatellaan staattisesti epämääräisenä rakenteena, jossa paalut ajatellaan yleensä molemmista päistään nivelöidyiksi sauvoiksi, jotka ottavat vastaan vain paalun suuntaisia voimia. Käsin laskennassa lasketaan paalukuormat niiden geometrian mukaan, eli kuormat jaetaan ensin erisuuntaisten paalujen painopisteakseleille ja sitten paaluille. [26, s.78-79.] Tietenkin, jos paaluryhmässä on vain 2 paaluriviä, se voidaan laskea myös momenttitasapainoyhtälöä hyödyntäen  $\Sigma M=0$ . Vinopaalujen käsin laskentaan löytyy ohje Martti Rantamäen ja Markku Tammisen vuoden 1979 Pohjarakennusohjeista sivulta 68 alkaen. Paalukuormien laskennassa voidaan hyödyntää esimerkiksi Culmannin menetelmää tai ns. jännityskuviomenetelmää.

Paaluryhmään suunniteltaessa erisuuntaisia paaluja, silloin kun paaluperustuksen kuormitusresultantti on vino ja sen suunta vaihtelee eri kuormitustapauksissa, on oltava tarkkana, että ei suunnittele paaluryhmästä mekanismia. Paaluryhmän tulee vinopaaluista huolimatta kyetä ottamaan vastaan momenttia molemmissa suunnissa. Jos kaikki paalurivit ovat erisuuntaisia, paalurivien jatkeet eivät saa leikata toisiaan samassa pisteessä, sillä silloin paaluilla ei ole kykyä ottaa vastaan kuormitusresultantin  $Q$  momenttivaikutusta  $M = Q * e$ , katso kuva 28. Kyseinen tapaus toimisi ainoastaan siinä tapauksessa, että kuormitusresultantin vaikutusviiva menisi tämän paalurivien leikkauspisteen kanssa samassa pisteessä. Kannattaa siis kiinnittää suunnittelussa huomiota missä pisteessä erisuuntaisten paalujen painopisteakseli sijaitsee, sillä jos se on kaukana kuormitusresultantista, se aiheuttaa rakenteeseen huomattavaa momenttia. Toisin sanoen paalut kannattaisi sijoittaa siten, että paalusuuntien painopisteakselit leikkaavat toisensa kuormitusresultantin vaikutussuoralla, jolloin vältetään rakenteeseen syntyvä momenttivaikutus. [28, s.69.] Vinopaalujen käytössä tulee huomioida, onko tulevat vaakakuormitukset pysyviä esimerkiksi maanpaineesta aiheutuvia vai hetkellisiä esimerkiksi tuulesta aiheutuvia. Paaluryhmän suunnittelussa ja määrääviä kuormitustilanteita laskettaessa, tulee huomioida, että vinopaalut ottavat vastaan myös pystykuormaa ja tätä kautta rakenteeseen aiheutuu myös vaakakomponentti. Eli jos ei ole pysyvää vaakakuormaa, sitä ei kannata myöskään itse rakenteeseen aiheuttaa sijoittamalla vain toiseen suuntaan kallistettuja vinopaaluja.



Kuva 28. Erisuuntaisten paalujen väärä keskinäinen sijoittelu. Kyseisessä tapauksessa paaluryhmä ei pysty ottamaan vastaan momenttia ja seurauksena on mekanismi. Paaluriivien jatkeet eivät saa siis leikata samassa pisteessä. [28]

Paaluanturoiden raudoituksen suunnittelu voidaan suorittaa SFS-EN 1992-1-1 ja PO-2016 mukaan. Paaluanturat voidaan mitoittaa SFS-EN 1991-1-1 kohdissa 5.6.4 ja 5.6.5 esitetyllä ristikkomenetelmällä tai taivutukseen perustuvalla menetelmällä. Taivutukseen perustuvassa menetelmässä tulee tarkistaa paaluanturan leikkauskestävyys, jolloin anturaan tarvitaan helposti leikkaushakoja. Taivutukseen perustuvassa mitoituksessa tulee myös tarkistaa erikseen paalujen ja pilarin lävistys paaluanturan läpi. Ristikkomenetelmän etuja on, että leikkaushakoja ei tarvita, eikä lävistystä tarvitse tarkistaa, sillä se hoidetaan puristusdiagonaalin kautta.

Paalutuksen suunnitteluun on paalutusohje PO-2016, RIL 254-2016 osat 1 ja 2. Osassa 1 on suunnittelun perusteet ja osassa 2 paalutuksen toteutuksen laatuvaatimukset sekä suunnittelun paalutyypikohtaiset ohjeet. Paalutusohjeesta löytyy tietoa esimerkiksi paalutusluokista, paalujen mitoituksista, paalujen materiaaleista ja varusteista, paalutuksen suunnittelusta, kuten sallituista keskiöetäisyyksistä ja sijaintipoikkeamista. Pienpaaluille löytyy RIL:itä ohje RIL 230–2007 Pienpaalutusohje (PPO-2007). RT:n Betoniteollisuus ry on julkaissut ohjeita paalutustyöhön sekä suunnitteluun. Teräsputki-paalujen suunnitteluun ja asennukseen on olemassa valmistajien omia ohjeita, esimerkiksi SSAB:illa on kyseinen ohje RR- ja RD-paaluille. Vaakakuormitettua paalua käsitellään myös Hanna Rasi-Koskisen diplomityössä: ”Vaakasuuntaiset alustaluvut paaluperusteisissa silloissa”. Kahden ja neljän paalun paaluanturan laskennasta löytyy SKOL:ita Excel-laskentapohja.



## 4.5 Alapohjan rakenne

Pohjatutkimuksen jälkeen käydään läpi todetut maaperän ominaisuudet, alapohjan tekniset vaatimukset ja mahdollisuudet eri alapohjarakenteiden käytölle sekä selvitetään eri alapohjarakenteiden kustannusvaikutukset. Erilaisia alapohjarakenteita ovat mm. maanvaraisesti perustettu teräsbetoni-laatta, maata vasten valettu kantava teräsbetoni-laatta, paalulaatta ja tuulettuva alapohjarakenne esimerkiksi ontelolaatoilla. Alapohjarakenteen suunnitelmissa huomioidaan mm. maaperän ominaisuudet, alapohjaan tulevat kuormitukset ja käyttötarkoitus, pohjavesiolosuhteet, radonin esiintyminen, routasuojaus ja vaadittava lämmöneristys sekä tarvittava vedenpoisto ja salaojakerrokset. Betonilattioista on tehty Rakennusteollisuus RTT ry:n, Betoniteollisuus ry:n ja Betonilattiatyöryhdyksen ry:n toimesta betonilattiat ohjekortisto BLY-14, josta löytyy yleisimpien betonilattioiden tyyppiratkaisut suunnittelu ohjeineen ja toteutuksineen. Betonilattiat kortiston tavoitteena on ratkaisujen vakiointi ja virheiden vähentäminen [30]. RT-kortissa 88–11009 on esitetty erilaisia alapohjarakenteita ja valmiita rakennetyyppejä.

### 4.5.1 Maanvarainen alapohja

Maanvarainen alapohja käsittää suoraan maata vasten valetut sekä lämmöneristeen päälle valetut teräsbetoni-laatat. Maanvarainen laatta voidaan tehdä ainoastaan hyvin kantavalle maaperälle. Geotekninen suunnittelija määrittelee maapohjan kantavuuden sekä alusrakenteet, sekä antaa betoni-laatan suunnitteluun alustaluvun. Maanvarainen teräsbetoni-laatta voidaan mitoittaa kimmoisalla alustalla olevana teräsbetoni- kuitube-toni- tai tartunnattomilla jänteillä jännitettynä betonirakenteena. Maanvaraisen teräsbetoni-laatan mitoitukseen vaikuttaa mm. alustan ja eristeen kantavuus sekä laattaan syntyvät pakkovoimat mm. kuivakutistumasta sekä lämpötilan muutoksesta. Maanvarainen laatta voidaankin suunnitella ottamalla raudoituksella pakkovoimista syntyvät vetojännitykset ja halkeilu, vaikuttamalla laatan ja sen alustan välillä olevaan kitkaan ja laatan saumajakoon tai sitten tekemällä rakenne siten, että sallittavat vetojännitykset eivät siinä ylity. 80 mm paksua maanvaraista laattaa voidaan käyttää pienemmillä kuormilla, mutta yleensä suositeltava laatan paksuus on vähintään 100 mm, varsinkin jos käytetään verkkorauδοitteita. [31, s.10] 100mm on myös minimilaatan paksuus silloin, kun käytetään verkkorauδοitusta ja vesikiertoista lattialämmitystä. [32] Maanvaraisen laatan raudoituukseen löytyy betonilattiat kortistosta BLY-14 yleisohje sekä tyyppilliset raudoitustiedot. Betonilattiat 2014 (BY 45, BLY 7) ohjekirjassa on esitetty betonilattioiden

perustyyppit, betonilattioiden laatuvaatimukset sekä lattioiden suunnitteluohjeet mitoituspäätteineen, raudoituksineen ja saumoitushjeineen.

#### 4.5.2 Kantava alapohja

Alapohjan rakenne voidaan tehdä maata vasten valettavana kantavana laattana tai tuulettavana alapohjana, jolloin alapohjan kantavana rakenteena toimii esimerkiksi ontelolaatat. Maata vasten valettavaan kantavaan alapohjaan päädytään yleensä silloin, kun perusmaan kantavuus on heikko, pohjavesiolosuhteiden vuoksi tarvitsee tehdä vesitiiviitä ratkaisuja tai suunnitellaan väestönsuojaa. Tuulettuvan alapohjan ratkaisuun voidaan päätyä esimerkiksi silloin, kun tiedetään maaperästä tulevan radonin olevan ongelma, alapohjaan tulisi paljon täyttöjä tai maan huonosta kantavuudesta johtuen. Tuulettuvan alapohjan ratkaisu helpottaa myös putkijohtojen kannatusta, huoltoa ja vaihtamista. Maata vasten valettavassa laatassa tulee myös huomioida putkijohtojen perustamisesta tai kannattelusta sekä mahdollisuudesta niiden korjaamiseen ja vaihtamiseen esimerkiksi kanaalein tai suunnittelemalla putkien kohdalle laattaan alueita, jotka voidaan piikata myöhemmin auki. Kantavan alapohjan tapauksessa tulee huomioida siirtymärakenteet rakennuksesta lähdettäessä esimerkiksi ovien ja putkijohtojen kohdalle, jotta maan painuminen ei tule näissä ongelmaksi. Ovien kohdalla voidaan tasata maan painumaa esimerkiksi 3 metriä leveällä ja 200 mm paksulla teräsbetonisella siirtymälaattalla, joka tuetaan ainoastaan rakennuksen puolelta. Mahdolliset lämmöneristeet tulee kiinnittää kantavaan laattaan, jotta laatan ja eristeen väliin ei synny ilmarakoa.

Kantava teräsbetonilaatan mitoittamiseen voi hyödyntää eri laskentaohjelmia, kuten Strusoftin FEM-Design 16 -ohjelmaa. Teräsbetonilaatan käsin laskentaan löytyy ohje ja laskentaesimerkkejä vuoden 2014 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjasta osasta 2 sivulta 7 alkaen. Kirjassa on käyty läpi myös raudoituksen suunnittelu teräsbetonilaattaan. Paalujen päälle tehtävä teräsbetonilaatta mitoitetaan kuten pilarilaatta, huomioiden maata vasten valettavilla ratkaisuilla rakenteiden terästen tarvitsemat suojabetonit. Lävistyksen estämiseksi käytetään paalujen päällä usein paaluhattuja. Eurocodes.fi sivuston kautta löytyy myös ohjeet: Osa 3: Laatat sekä Osa 7: Pilarilaatat, joiden avulla pääsee myös laskentaan käsiksi. Tuulettuva alapohja voidaan suunnitella myös elementtirakenteisena, jolloin esimerkiksi alapohjan palkki-laatta-ratkaisuihin löytyy tietoa elementtisuunnittelu.fi kautta tai valmisosarakenteita valmistavien yritysten nettisivujen

kautta. Elementtisuunnittelu.fi:stä löytyy esimerkiksi esisuunnittelua varten elementtien mitoituskäyrästä ja valmiita detaljeja elementtien välisiin liitoksiin.

#### 4.6 Tartunnat perustuksista

Tartunnat suunnitellaan siten, että niihin liittyvä rakenne voi tartuntojen avustuksella viedä työnaikaiset kuormat, että käyttöikänsä aikaiset kuormat perustuksille. Elementteille tulevista tartunnoista tehdään erillinen piirustus, jossa näkyy tartuntojen tarkat tiedot ja sijainnit. Tartuntojen suunnittelussa on tärkeää huomata myös työturvallisuus mm. siten, että käytetään mieluummin, jos mahdollista, lyhyiden tappien sijaan lenkkejä. Elementtien liitoksissa käytetään usein toimittajien valmiita tuotteita, kuten pilarikenkiä ja kiinnityslevyjä, jolloin ohjeet tuotteiden käytölle, kapasiteetille ja tarvittavalle rau-doitukselle tulee tuotteen toimittajan mukaan. Tartuntoja voidaan asentaa perustuksiin myös jälkikiinnityksellä eri toimittajien tuotteiden ja ohjeiden mukaisesti.

Perustuksissa käytetään yleisesti vaarnatappeja varsinkin elementtirakenteisten alapohjien yhteydessä. Vaarnatapit esimerkiksi maanpaineseinäelementin alaosaan molemmilla puolilla ottavat vastaan työnaikaisia kuormia sekä maanpainekuormaa ja vievät ne leikkauksella anturaan. Rakennusmääräyskokoelmasta löytyy vaarnatapin laskenta, mutta sitä ei ole esitetty eurokoodissa. Betoninormikortissa 23 on esitetty tappiliitoksen leikkauskestävyysslaskenta betonielementtien onnettomuustilanteen yhteydessä sivulta 42 alkaen. Anneli Dahlgren ja Louise Svensson ovat tehneet tutkielman, jossa käsitellään Eurokoodi 2:sta: ”Guidelines and Rules for Detailing of Reinforcement in Concrete Structures”. Kyseisessä tutkielmassa on johdettu vaarnatapin laskenta. Tappiliitoksen laskentaa elementtien yhteydessä on käyty läpi myös ohjeessa FIB Bulletin 43 vuodelta 2008: ”Structural connections for precast concrete buildings” sivut 203–222. Vaarnatapin kaavan 12 ehto on, että halkeama on estetty [33, s.154]. Vaarnatapin leikkauskestävyys on esitetty em. lähteessä seuraavasti [33]:

$$F_{vR} = c_0 * c_e * \phi^2 * \sqrt{f_{cd} * f_{yd}} \quad (12)$$

$F_{vR}$  = leikkauskapasiteetti

$c_e$  = Kerroin, joka sisältää kuorman epäkeskisyyden  $e$  betonin pinnasta, ks.kuva 29. Dahlgren&Svensson ohjeessa on kuitenkin johdettu lopuksi

laskenta siten, että  $e$  on nolla. Plastisuusteoriaa voidaan käyttää lopullista leikkauskapasiteettiä laskettaessa, koska betonin ja teräksen voidaan olettaa saavuttavan plastisuusteorian mukaisen käyttäytymisen, kun maksimi leikkausvoima lähestyy.  $C_e$  kertoimena voidaan käyttää lukua 1.

$\varnothing$  = Vaarnatapin halkaisija

$f_{cd}$  = Betonin suunnittelulujuus

$f_{yd}$  = Teräksen suunnittelulujuus

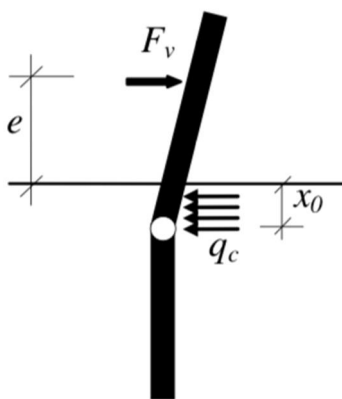
$$c_0 = \sqrt{\frac{k}{3}} \quad (13)$$

$c_0$  = kerroin, joka määrittää betonin kestävyyttä

$k = 3$ , BBK 04 s.116 (Boverkets handbok om betongkonstruktioner)

4, FIB 2008 (Structural connections for precast concrete buildings), ohjeessa tuodaan kuitenkin esille, että  $c_0$  arvona voidaan käyttää 1:stä.

RakMk  $c_0 = 1,2$



Kuva 29. Vaarnatapin laskenta perustuu betoniin upotetun tapin plastisuusteorian mukaiseen leikkauskykyyn [33, s.155].

Harjateräksen tarvittavaa ankkurointipituutta suunniteltaessa tulee huomioida, että ankkurointipituuden vähimmäisarvo vetovoimaa ankkuroitaessa on määritetty SFS-EN 1992-1-1 sivulla 134 siten, että sen tulee olla suurin arvoista  $10 \cdot$  harjateräksen halkaisija, 100 mm tai ankkurointipituuden perusarvo  $l_{b,rd} \cdot 0,3$ . Tietyissä tapauksissa on kuitenkin osoitettu, että vaarnatappiliitoksesta pystyy hyödyntämään täyden leikkauskapasiteetin, tulee vaarnatappi asentaa betoniin vähintään seuraavaan minimisyvyyteen [33, s.155]:

$$l_a \geq 6 \cdot \varnothing \quad (14)$$

$l_a$  = vaarnatappin minimiasennussyvyys betoniin

Koska anturat ja paikallavaluseinät/-nostot valetaan eri aikaan, tulee anturoista valmiit tartunnat seinälle. Tarvittavat tartunnat lasketaan yläpuolen rakenteen rakennemallin ja kuormituksen mukaan. Tartuntojen määrittämisessä tulee kiinnittää huomiota myös asennusaikaiseen tilanteeseen, esimerkiksi jos seinä on tukemattomana muottien purkamisen jälkeen. Eri aikaan valettavien betonien sauman leikkauskapasiteetin laskentaan löytyy ohje RIL 202–2011/by 61:stä sivulta 42 alkaen. Tartuntarautoitusta, jota käytetään hyväksi momentin ottamiseen, ei käytetä hyödyksi leikkausvoimaa laskettaessa.

## 5 Maanpaineen huomioiminen rakennesuunnittelussa

Rakennettaessa maan alle tulee maanpaine aina huomioida. Maanpaineesta aiheutuvien rasituksien suuruutta laskettaessa tulee ottaa huomioon mm. maanpinnan kaltevuus, maanpinnalla oleva kuorma, tukiseinän kaltevuus, vedenpinnan korkeusasema sekä suotovirtausvoimat, seinän mahdollinen liike ja suunta suhteessa maahan, maanpainerakenteen kokonaisvakavuus vaaka- sekä pystysuunnassa, maan leikkauslujuus ja tilavuuspaino, tukiseinän ja koko maanpainerakenteen jäykkyys sekä seinän karheus [17, s.160].

### 5.1 Maanpaineen määrittäminen

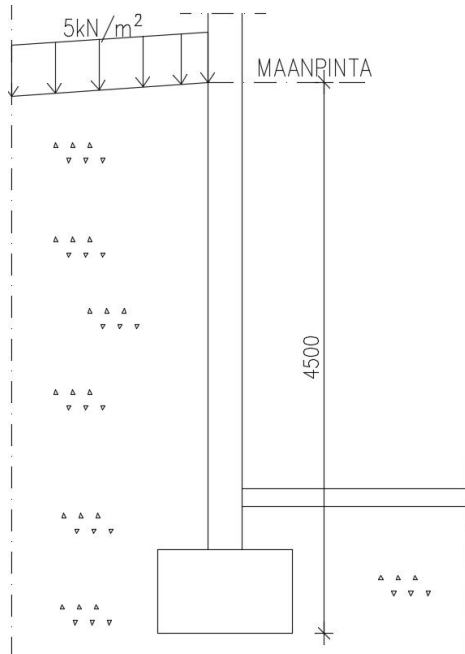
Maanpaineella tarkoitetaan maamassasta tai ulkoisesta kuormituksesta johtuvaa kosketuspainetta pystysuoriin tai kalteviin seiniin ja rakenteisiin. Kun määritetään maanpainetta, tulee huomioida tarkasteltavassa rajatilassa mahdollisesti esiintyvä liike ja muodonmuutos ja sen hyväksyttävä muoto ja suuruus. [17, s.160.] Maanpaineeseen tai rakenteen liikkeen tai liikkumattomuuden mukaan maanpaine katsotaan lepo-, aktiivi- tai passiivipaineeksi. Todellisen maanpaine kuvion määrittäminen on melkein mahdotonta. Kuitenkin maanpaineen mitoittamisen helpottamiseksi voidaan valita jokin edellä mainittu maanpaine kuvio, ja laskenta tehdään pahimmalle kuormitustapaukselle.

#### 5.1.1 Lepopaine

Silloin kun maanpainerakenteen pystyosa on liikkumaton, on myös maa-aines tukirakenteen takana liikkumattomassa tilassa. Tällöin maan painosta aiheutuu seinämään vaakakuorma suoraan sen ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi asuinkerrostalojen kellarin seinät lasketaan lepopaineen mukaan. Laskentaesimerkissä 1 on esitetty lepopaineen laskenta kellarin seinään silloin, kun pohjavedenpinta on pysyvästi perustustason alapuolella. Laskentaesimerkissä 2 on esitetty miten pohjavedenpinnan nouseminen vaikuttaa samaan kellarin seinään. Lepopaineen laskentakaavat löytyvät SFS-EN 1997-1 sivulta 99 alkaen. Sama asia on esitetty RIL 207–2009:ssä sivulta 161 alkaen.

### Laskentaesimerkki 1.

Lepopaineen laskenta. Oletetaan laskentaesimerkin maanpaineseinärakenteen olevan liikkumaton ja lasketaan siksi maanpaine lepopaineena. Kuvassa 30 on esimerkin maanpaineen rasittama kellarin seinä.



Kuva 30. Maanpaineen rasittama kellarin seinä

Lähtötiedot:

Sora  $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$

Seinän vieressä vaikuttava hyötykuorma  $q = 5 \text{ kN/m}^2$

Maan leikkauskestävyysskulma  $\varphi = 36^\circ$

Lepopaineen laskenta:

$$\mathbf{K_0 = (1 - \sin \varphi)} \quad (15)$$

Jos maanpinta olisi kalteva, muuttuisi kaava muotoon:

$$K_{0;\beta} = K_0 * (1 + \sin \beta) \quad (16)$$

$K_0$  = lepopaineen maanpaineluku

$\varphi$  = maan leikkauskestävyyskulma (kitkakulma)

$\sin \beta$  = maanpinnan kaltevuuskulma

$$K_0 = (1 - \sin 36^\circ) = 0,413$$

(Jos  $K_0$  olisi 1 tiedettäisiin, että pysty- ja vaakajännitys ovat yhtä suuret)

$$p_0 = K_0 * (\sigma_z) = K_0 * (\gamma * z + q) \quad (17)$$

$p_0$  = lepopaine

$\gamma$  = maan tilavuuspaino

$q$  = pintakuorma

$z$  = etäisyys maanpinnasta

Maanpaine, kun  $z=0\text{m}$

$$p_{0(z=0\text{m})} = 0,413 * (20\text{kN/m}^3 * 0\text{m} + 5\text{kN/m}^2) = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine, kun  $z=4,5\text{m}$

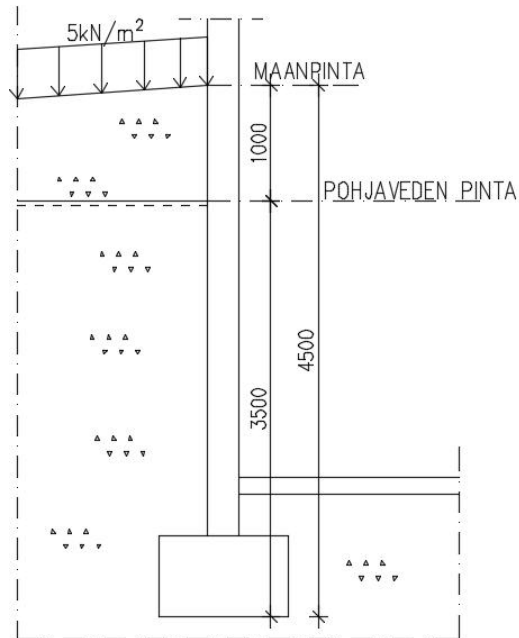
$$p_{0(z=4,5\text{m})} = 0,413 * (20\text{kN/m}^3 * 4,5\text{m} + 5\text{kN/m}^2) = 39,2 \text{ kN/m}^2$$

## Laskentaesimerkki 2.

Pohjavesipinnan huomioiminen maanpainetta laskettaessa.



Perustuu Raimo Jääskeläisen Geotekniikan perusteet oppikirjan sivulta 50 ja 177 löytyviin laskentaesimerkkeihin. Pohjavesipinta on esimerkissä noussut 1 metrin päähän maanpinnasta kuvan 31 mukaisesti.



Kuva 31. Maanpaineeseinän rasitukset, pohjavedenpinta on noussut 1 metrin päähän maanpinnasta.

Lähtötiedot, kuten laskentaesimerkissä 1. Lisänä on pohjavedenpinnan nousu.

Vesi  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

Veden alla olevan maa-aineksen tilavuuspainon laskeminen:

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (18)$$

$\gamma'$  = maa-aineksen tilavuuspaino veden alla

$\gamma_{\text{sat}}$  = maa-aineksen märkätilavuuspaino

$\gamma_w$  = veden tilavuuspaino

$$\gamma' = 20 \text{ kN/m}^3 - 10 \text{ kN/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3$$

Lepopaineen laskenta:

Maanpaine, kun  $z=0\text{m}$

$$p_{0(z=0\text{m})} = (1 - \sin 36^\circ) * (20\text{kN/m}^3 * 0\text{m} + 5\text{kN/m}^2) = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine, kun  $z=1\text{m}$

$$p_{0(z=1\text{m})} = (1 - \sin 36^\circ) * (20\text{kN/m}^3 * 1\text{m} + 5\text{kN/m}^2) = 10,3 \text{ kN/m}^2$$

Pohjavedenpinnan alapuolelle mentäessä vedestä aiheutuvaa painetta ja maa-aineksesta aiheutuvaa maanpainetta on käsiteltävä erikseen. Vedestä aiheutuva paine on aina sama riippumatta maa-aineksesta. Vesipaine kasvaa symmetrisesti mentäessä syvemmälle maanalle. [10, s.177.]

Vedestä aiheutuva paine:

$$p_w = \gamma_w * z_w \tag{19}$$

$p_w$  = vedenpaine

$z_w$  = vedenpinnan korkeus

$\gamma_w$  = veden tilavuuspaino

Vedenpaine maanpaineseinää vasten:

$$p_w(z_w=0) = 10\text{kN/m}^3 * 0\text{m} = 0$$

$$p_w(z_w=3) = 10\text{kN/m}^3 * 3,5\text{m} = 35\text{kN/m}^3$$

Maa-aineksesta aiheutuva maanpaine pohjavedenpinnan alapuolella tulee maarakeiden välisestä puristuksesta ja se kasvaa maa-aineksen tiheyden  $\gamma$  mukaan. Pohjavedenpinnan alapuolista rasitusta maanpaineseinälle kannattaa lähteä laskemaan siten,

että muutetaan kaikki rajapinnan yläpuolella oleva pystykuormitus uudeksi pintakuormaksi  $q$  ja aletaan laskea uutta  $z$  termiä pohjavedenpinnasta. [10, s.177.]

Uusi pintakuorma ja maanpaine pohjavedenpinnan tasossa:

$$q_1 = 1\text{m} * 20\text{kN/m}^3 + 5\text{kN/m}^2 = 25\text{kN/m}^2$$

$$p_{0(z_w)} = (1 - \sin 36^\circ) * (\gamma' * z_w + q_1)$$

$$p_{0(z_w=0)} = (1 - \sin 36^\circ) * (10\text{kN/m}^3 * 0\text{m} + 25\text{kN/m}^2) = 10,3 \text{ kN/m}^2$$

Maa-aineksesta aiheutuva maanpaine maanpaineseinän alareunassa pohjavedenpinnan alapuolella:

$$p_{0(z_w=3,5)} = (1 - \sin 36^\circ) * (10\text{kN/m}^3 * 3,5\text{m} + 25\text{kN/m}^2) = 24,8 \text{ kN/m}^2$$

Lopuksi vedenpaineesta, maa-aineksesta ja pintakuormasta tuleva maapaine yhdistetään:

$$P_{0 \text{ yht. } (z=0\text{m})} = 2,1\text{kN/m}^2$$

$$P_{0 \text{ yht. } (z=1\text{m})} = 10,3\text{kN/m}^2 + 0\text{kN/m}^2 = 10,3 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{0 \text{ yht. } (z=4,5\text{m})} = 24,8 \text{ kN/m}^2 + 35 \text{ kN/m}^2 = 59,8 \text{ kN/m}^2$$

Laskentaesimerkkien 1 ja 2 tuloksista voidaan päätellä, että pohjavedenpinnan tasolla on suuri merkitys laskettaessa maanpaineseinärakenteelle tulevaa kuormitusta. Pohjavettä ei tarvitse huomioida laskennassa, jos pystytään varmistamaan pohjaveden pinnan pysyminen tukirakenteiden alapuolella esimerkiksi pitkäaikaisella pohjavedenpinnan seurannalla tai kuivatusratkaisuilla.

### 5.1.2 Aktiivipaine

Aktiivipaine syntyy, kun maanpainerakenne siirtyy maa-aineksesta pois päin ja samalla siihen tuleva maanpaine pienenee. Tämä kestää siihen asti, kunnes maa-aineksen leikkauslujuus saavuttaa vaarallisimman liukupinnan tukirakenteen takana ja murtuu.

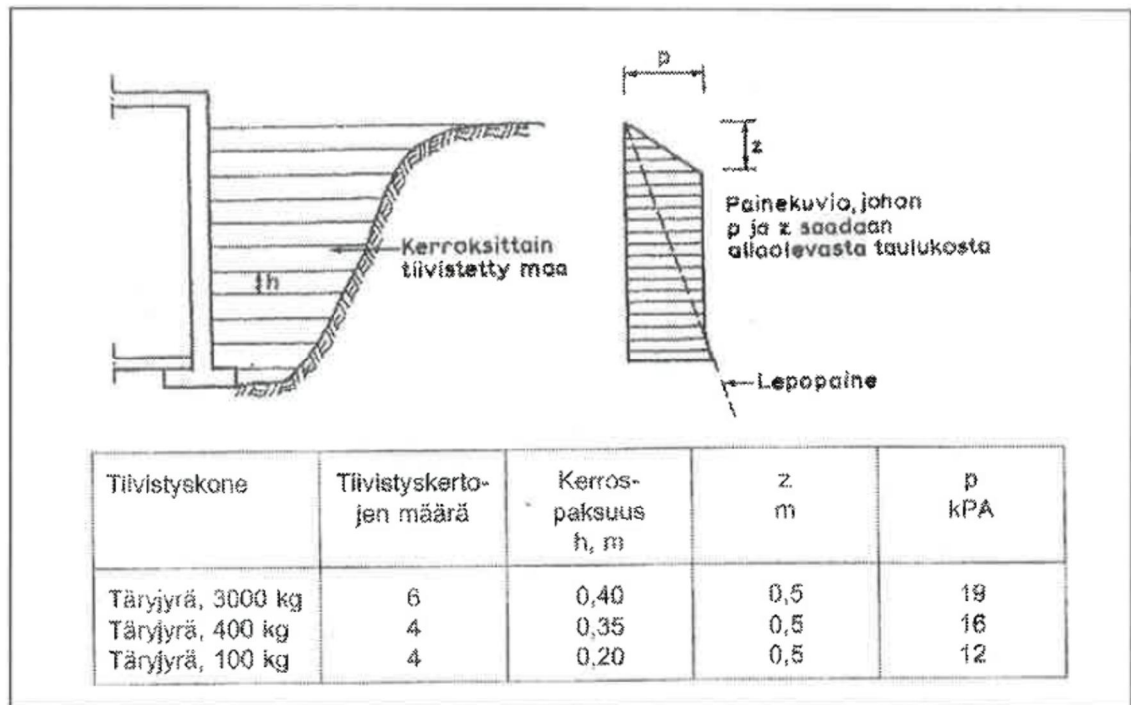
Aktiivipaineessa maanpainearvot muuttuvat siis lepopainetta pienemmiksi. Aktiivipaineen kehittyminen riippuu maa-aineksen ominaisuuksista. Aktiivipainetta käytettäessä laskennassa tulee huomioida, että aktiivipaine voi ajan kanssa muuttua ja kasvaa takaisin lepopaineeksi esimerkiksi pehmeillä savimailla plastisten muodonmuutosten kautta. Aktiivipaineen oletetaan syntyvän tiiviillä karkearakeisella maa-aineksella, kun tukirakenne liikkuu 0,05 % suhteessa sen korkeuteen, eli esimerkiksi 6000 mm korkean tukiseinän tulee siirtyä vähintään 3 mm. Silloin kun tukirakenteen takana on löyhä hiekka, tarvitsee tukirakenteen liikkua 0,2 % suhteessa sen korkeuteen, jotta siinä voi kehittyä aktiivipaine. Savimailla vastaava luku on 1-2 %. [10, s.168.] Lähteessä SFS-EN 1997-1 Geotekninen suunnittelu sivulla 148 on esitetty taulukossa C.1 aktiivisen maanpaineen mobilisoitumiseen tarvittavat rakenteen siirtymät.

### 5.1.3 Passiivipaine

Passiivipaine syntyy, kun maanpainerakenne siirtyy maa-ainekseen päin ja samalla siihen tuleva maanpaine kasvaa. Tämä kestää siihen asti, kunnes maa-aineksen leikkauslujuus saavuttaa vaarallisimman liukupinnan tukirakenteen edessä ja murtuu kohoamalla ylöspäin. Passiivipaineessa maanpainearvot muuttuvat siis lepopainetta suuremmiksi. Passiivipaineen syntyminen edellyttää huomattavasti suurempia rakenteen siirtymiä kuin aktiivipaineessa. Lähteessä SFS-EN 1997-1 Geotekninen suunnittelu sivulla 149 on esitetty taulukossa C.2 passiivisen maanpaineen mobilisoitumiseen tarvittavat rakenteen siirtymät.

## 5.2 Tiivistämisen vaikutus maanpaineeseen

Maanpainelaskennassa tulee ottaa huomioon myös taustatäytön tiivistämisestä aiheutuva lisäkuormitus, joka vaikuttaa yleensä täyttöjen jälkeen seinän yläosassa. On osoitettu mittaamalla, että lisäkuorma on yhteydessä käytettyyn tiivistysenergiaan, tiivistyskerroksen paksuuteen sekä tiivistyslaitteen kulkureittiin. [17, s.163.] Kuvassa 32 on esitetty siirtymättömään seinään maataytön tiivistämisestä aiheutuva lisäpaine.



Kuva 32. Täytön tiivistämisestä aiheutuva pysyvä maanpaine siirtymättömään tukiseinään [17, s.163].

### 5.3 Maanpainerakenteet

Maanpainetta voidaan ottaa vastaan eri rakenteilla, kuten tukimuureilla, maanpaineseinillä ja erilaisilla kaivantojen tukiseinillä. Maanpainerakenteen suunnittelussa perusajatus on, että maanpaineen suuruus ja sen kuvion jakauma sekä tukirakenteen liike ovat vaikutussuhteessa keskenään. Eli jos rakenteesta tehdään jäykkä ja sen liike minimoidaan, aiheutetaan sillä maanpaineen kasvaminen ja se vaikuttaa taas rakenteen dimensioihin ja raudoituksiin.

#### 5.3.1 Maanpainesinä

Talorakennuksen seinä voi toimia pystykannattajana ja jäykisteenä sekä maanpaineseinänä. Pystykuormitettu seinä toimii kuten pilari, mutta seinä voi nurjautaa vain yhdessä suunnassa ja siihen kohtisuorassa olevat seinät voivat vielä lisätä sen jäykkyyttä. Puristuksessa oleva rakenne katsotaan seinäksi, jos sen poikkileikkauksen suurempi sivumitta on neljä kertaa suurempi kuin sen pienempi sivumitta eli paksuus. Seinän paksuudelle ei ole eurokoodissa vähimmäisrajaa. Seinän paksuus määräytyy rakenteellisesta kestävydestä, palonkestävyydestä sekä ääneneristysvaatimuksesta. Seinä

mitoitetaan puristus- ja taivutusrasitettuna rakenteena, kuten pilarit, silloin kun vaakakuormat eivät ole hallitsevia. Silloin kun vaakakuormat ovat hallitsevia, kuten maanpaineisiin ja väestönsuojan paineseinissä, tarkastellaan seinät laattoina. [25, s.155-156.] Silloin kun seinää kuormittaa sen tasoa vastaan kohtisuora maanpainekuorma, seinän mitoituksessa tulee huomioida, että maanpaineesta aiheutuva taivutusmomentti ei ylitä seinän taivutusmomenttikapasiteettia. Talorakennuksen maanpaineisiin suunnitellaan siirtymätön, jolloin seinän mitoitus tehdään lepopaineella. Seinän viereisen täytön tiivistäminen tulee ottaa tällöin huomioon luvun 5.2 mukaisesti. Maanpaineisiin mitoitukseen pääsee hyvin käsiksi esimerkiksi Juha Väisäsen opinnäytetyön: ”Teräsbetonirakenteisen maanpaineiseinäelementin suunnitteluohje” kautta. Maanpaineekuorman laskentaan seinälle löytyy Excel-laskentapohja: SKOL\_M12\_Maanpainekuorma.

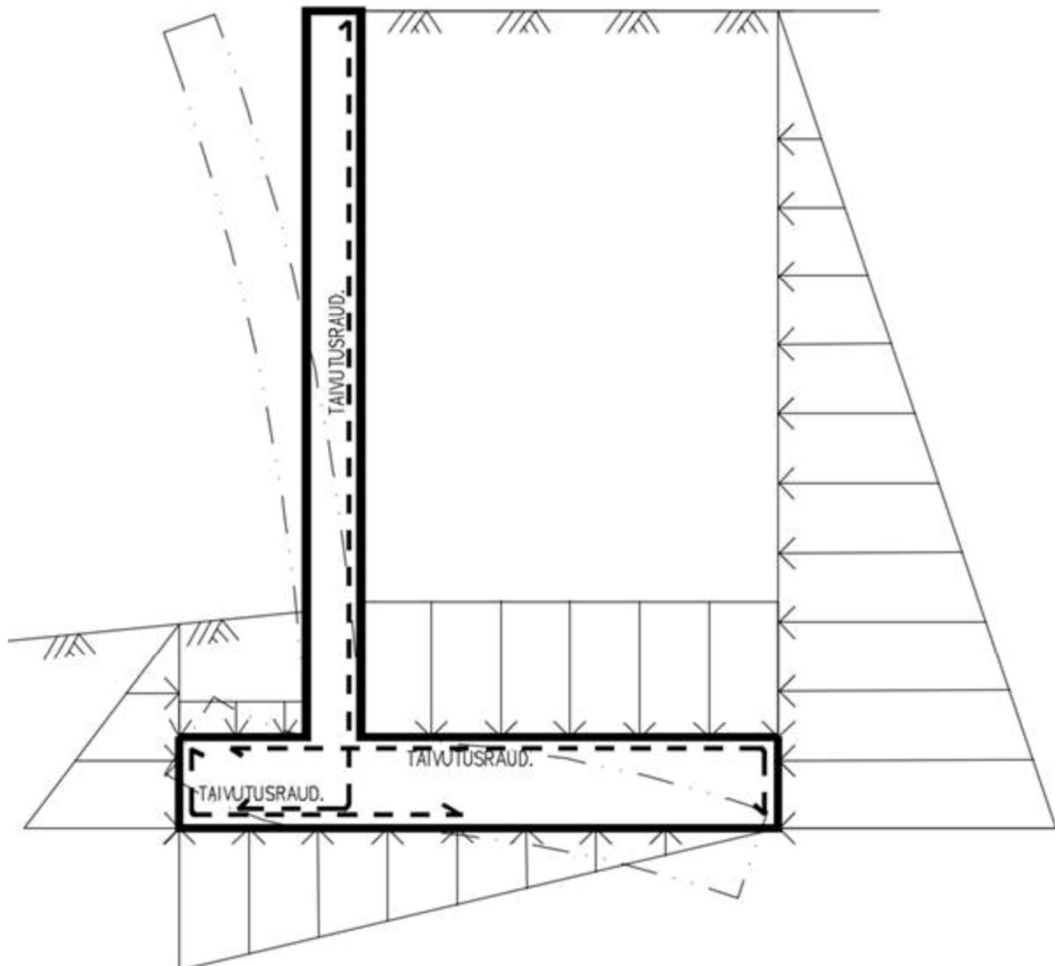
### 5.3.2 Tukimuuri

Tukimuurilla mahdollistetaan maaperän käyttö ilman luiskauksia. Tukimuurin avulla saadaan maanpinnat eri tasoihin esimerkiksi kaltevalla tontilla. Tukimuuri on yleensä teräsbetonisella laattalla ja pystyseinällä varustettu maanpainerakenne, jonka pystyssä pysymistä määrätään pääsääntöisesti takalaipalle tulevalla maan painolla. Tukimuuri voidaan mitoittaa aktiivipaineelle, jolloin huomioidaan tukimuurin vaakasiirtymä. Aktiivipaineella mitoitettaessa tukimuurirakenne tulee ottaa irti liikkumattomista rakennuksista/rakenteista. Kuitenkin on huomioitava, että aktiivipaine voi eri syistä, kuten maaperän leikkaantumisen johtuen muuttua ajansaatossa lepopaineeksi. Jos tukimuurista suunnitellaan liikkumaton rakenne, tulee mitoitus tehdä lepopaineella.

Tukimuurin suunnittelussa tulee huomioida routa siten, että estetään roudan meneminen laatan alle sekä pystyseinän taustalle. Tämä voidaan toteuttaa viemällä pohjalaatta roudattomaan syvyyteen tai käyttämällä routasuojauslevyjä sekä tekemällä pystyseinän taustalle ja laatan päälle salaojituskerros/routimaton täyttö. Tukimuuriin taustalle tulee tehdä toimiva vedenpoistoratkaisu, jotta vesi ei pääse nousemaan tukimuurin taustalle aiheuttamaan tukimuurille ylimääräistä rasitusta ja liikkumista. Tämä onnistuu esimerkiksi tekemällä tukimuurin pystyseinän taustalle salaojituskerros sekä käyttämällä hyvin vettä läpäisevää maa-ainesta tukimuurin luiskasta tukiseinän alaosaan asti ja sijoittamalla salaoja tukimuurin taustalle pohjalaatan tasoon. Tällöin tukimuurin taakse tuleva vesi saadaan ohjattu suoraan salaojaan. Kulmatukimuurin maa-aineksen puoleinen seinä on usein perusteltua myös vedeneristää esimerkiksi kumibitumikermeillä, sillä jos

vesi pääsee tukiseinän läpi, se voi vähentää tukimuurin käyttöikää ja pilata tukimuurin näkyvän pinnan pintakäsittelyn tai materiaalin. Tukimuurin seinän yläpinta kannattaa tehdä maanpintaa ylempäs tai käyttää niskaojaa, jolla varmistetaan, ettei pintavesi valu tukimuurin näkyvää seinää pitkin.

Jäykkä kulmatukimuurin voi siirtyä kaatumalla eli rakenne kiertyy sen alaosan ympäri, liukumalla eli koko rakenne siirtyy yhteen suuntaan, maapohjan murtumalla eli kiertymä tapahtuu sen yläpään ympäri tai näiden eri siirtymien yhdistelmällä eli kokonaisvakaavuuden menetyksellä. Esimerkkinä kulmatukimuurin käyttäytymisestä ja rakenteellisesta toiminnasta on esitetty kuvassa 33. Tukimuurin mitoitus pääsee hyvin käsiksi esimerkiksi internetistä löytyvän Jonne Savolaisen Diplomityön: ”Kulmatukimuurin geo- ja rakennetekninen suunnittelu” avulla.



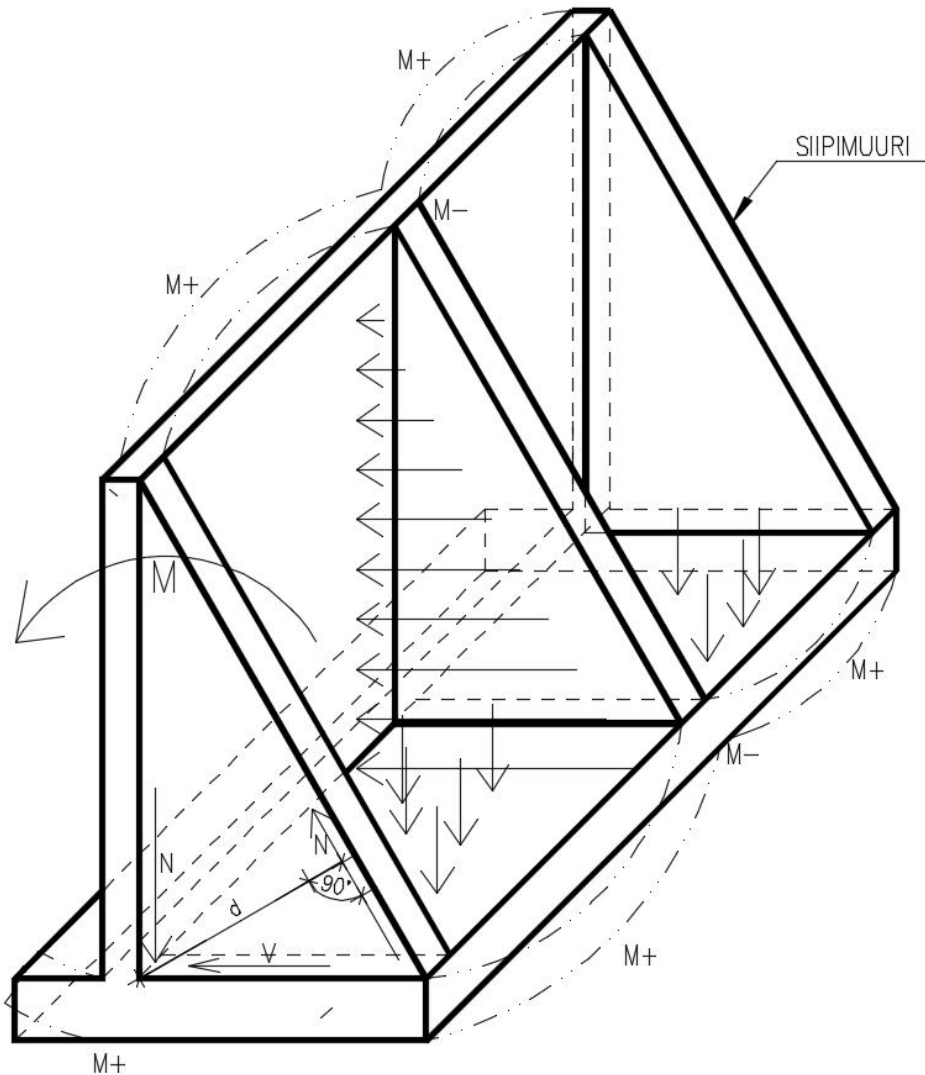
Kuva 33. Kulmatukimuurin käyttäytyminen ja rakenteellinen toiminta.

### 5.3.3 Tukimuurin vahvistaminen tukiseinillä

Tukimuurien ulokkeellisia seiniä voidaan vahvistaa laipoilla ja siivillä, joilla saadaan jäykistettyä tukimuurirakenne. Tukimuurin siivillä toisin sanoen sidotaan tukiseinä ja pohjalaatta yhteen. Siipiä voidaan käyttää tukimuurin korkeamman täytön puolella, jolloin siihen vaikuttaa momentista vetorasitus tai ns. etupuolelle, jolloin siihen vaikuttaa momentista puristusrasitus. Tukimuurin tukiseinä, joka normaalisti toimii tukimuurissa ulokkeena, saadaan siipien avulla toimimaan kolmelta sivulta tuettuna jatkuvana laattana, jolloin siihen vaikuttava taivutusmomentti ja leikkausvoima pienenevät. Maanpaineesta tukiseinään aiheutuva kuorma viedään pohjalaattaan ja siipimuureille laatan tukireaktioiden mukaan. Siipimuurille aiheutuu tästä kuormasta momentti- ja leikkausrasitus. Siipimuurit voidaan suunnitella ylöspäin kaventuvaan, ks. kuva 34, sillä momenttirasituskin pienenee ylöspäin mentäessä. Siipimuurit voidaan mitoittaa ns. ulokkeellisena T-palkkina, jonka kaventuvaan sivuun vaikuttaa vetorasitus ja T-osaan puristusrasitus. Mittana  $d$  voidaan käyttää palkissa kuvassa 34 esitettyä mitta, joka on siiven kaltevasta pinnasta kohtisuorassa tukiseinää vasten. Siipimuurin rakenteellista toimintaa on esitetty kuvassa 34, kun siipi on sijoitettuna korkeamman täytön puolelle.

Paikallavalu tukimuureissa suositellaan käytettäväksi siipiä vasta, kun tukimuurin seinän korkeus on vähintään 6-8 metriä. Kun tukimuurissa käytetään siipiä, sen tukiseinä ja pohjalaatta mitoitetaan siis siipimuureille tuettuina laattoina. [34, s.180.] Pohjalaatan tukiseinän siipimuurien puoleisen osan rasituksena toimii siipimuurissa maatyttöjen paino sekä laatan oma paino. Pohjalaatan etuosa mitoitetaan ulokkeena kuten tukimuurissa ja sitä rasittaa samalla tavalla kuormituksesta aiheutuva pohjapaine. Siipimuurirakenne tarkastetaan, kuten tukimuri, kaatumisen, liukumisen, maapohjan murtumisen ja kokonaisvakavuuden suhteen.





Kuva 34. Siipitukimuurin rakenteellinen toiminta, kun siivet on sijoitettu korkeamman täytön puolelle.

#### 5.3.4 Kaivannot ja niiden tukiseinät

Talorakennus tulee perustaa häiriintymättömän maan päälle ja siksi kaivuissa tehdään erikseen alkukaivu ja loppukaivu. Alkukaivulla kaivetaan ja poistetaan maata tarvittavaan syvyyteen asti talorakennuksen perustamistason mukaan. Lopulliseen kaivuupohjaan jätetään paksu suojakerros geoteknisen suunnittelijan mukaan, joka mahdollistaa koneiden liikkumisen tontilla ilman, että perustettava pohja häiriintyisi. Loppukaivussa anturoiden ja maanvaraisten lattioiden pohjat viimeistellään. Heti loppukaivun jälkeen aloitetaan perustuksien tekeminen. Salaojakerrokset lisätään mahdollisimman pian perustuksien teon jälkeen heti tämän kaivuu pohjan suojaksi, jotta sateet eivät lietä maapohjaa, luiskat valu alas ja routaantuminen pehmitä maapohjaa. Usein varsinkin

matalaperusteisissa talorakennuksissa voidaan tehdä avokaivannot luiskaamalla geoteknisen suunnittelijan antamien luiskien kaltevuuksien mukaan. Jos perustukset joudutaan tekemään pohjavesipinnan alapuolelle, tulee pohjavesipinta alentaa perustustason alapuolelle esimerkiksi pohjavedenpinnan alapuolelle tehdyistä suodatinkaivoista pumppaamalla ennen kaivuu työtä. Jos kaivetaan pohjavedenpinnan alapuolelle, mahdollistuu maapohjan hydraulinen murtuminen sekä varomaton kaivu yleensäkin löyhdyttää helposti perustettavan maapohjan. [26, s.178, 189.]

Joskus joudutaan käyttämään kaivannoissa tukiseiniä esimerkiksi kadun, muiden rakennuksien, työnaikaisien tarpeiden tai rakennuspohjan maa-aineksen ja pohjavesiolosuhteiden takia. Kaivantojen tukeminen vaatii pääsääntöisesti geosuunnittelijan tekemät suunnitelmat ja laskelmat. Kaivantojen tukeseinät ovat usein työnaikaisia lisärakenteita, joista voi tulla huomattaviakin työnaikaisia lisäkustannuksia. Kaivantojen tukemiseen käytetään usein teräsponttiseiniä. Teräsponttiseinä on valmistajansa mukaiseen teräsprofiiliin muokattu teräsponttitukirakennelma. Teräsprofiilien pontit pyritään lyömään maahan uriinsa, jolla saavutetaan teräsponttiseinän valmistajan suunnittelema jäykkyys ja suhteellisen vesitiivis rakenne. Teräsponttiseinän tukemiseen voidaan käyttää maa- ja kallioankkureita sekä kalliopinnan lähellä kalliotappeja estämään ponttiseinän alapään liikettä. Kaivannon tukemiseen voidaan käyttää myös seittiseiniä sekä järeämpiä tukiseiniä, joita tehdään esimerkiksi kaivinpaalujen avulla. [26, s. 180–186.]

#### 5.4 Maanpaineen vähentäminen rakenteista

Maanpainetta voidaan vähentää rakenteista muun muassa keventämällä seinien vierustojen täyttöjä esimerkiksi kevytsoralla tai EPS:llä; luiskaamalla maanpinnat siten, että rakennukseen ei aiheudu maanpainetta tai tietyissä tapauksissa voidaan suunnitella teräsbetoninen sulkulaatta kellarin seinän ja viereisen kalliopinnan päälle, jolloin seinän viereen ei tule maatayttöjä ja tätä kautta maanpainetta.

## 6 Alapohjarakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu

Alapohjarakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu on yksi osa kokonaisuutta, jolla mahdollistetaan koko rakennuksen rakennusfysikaalisen toiminnan hyvä laatu. Hyvään laatuun päästään käyttämällä teknisiä ratkaisuja, joista on hyviä kokemuksia ja tietoa, hallitulla ja tarkalla suunnittelu- ja toteutusprosessilla sekä kunnollisilla ylläpito- ja käyttötoimenpiteillä. Alapohjarakenteen olosuhteissa tapahtuvat muutokset ovat hitaampia kuin ilmaan rajoittuvassa rakenteessa. Muun muassa sääolot ja vuodenaikat vaikuttavat alapohjarakenteen lämpötiloihin ja kosteusrasituksiin. [35, s.17, 151.] Tässä luvussa keskitytään pääasiassa alapohjarakenteiden lämmön, kosteuden ja ilman vaikutusten huomioon ottamiseen.

### 6.1 Rakennusfysikaalinen suunnittelu yleisesti

Rakennusfysikaaliseen suunnitteluun kuuluu rakennuksien ja rakenteiden lämmön-, kosteuden- ja äänen kulkuun liittyviä asioita. Lisäksi rakennusfysikaalisen suunnittelun piiriin voidaan katsoa valaistus. Suurin osa rakennusfysikaalisesta suunnittelusta liittyy rakenteiden toiminnan tarkasteluun lämpö- ja kosteusteknisten asioiden kautta, sillä niiden merkitys on sen verran suuri. Kuitenkin talorakennuksen suunnittelussa tulee huomioida myös koko rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta. Rakennusfysikaalisen suunnittelun keskiössä on rakennuksen energian kulutus, ympäristövaikutukset, sisäilman laatu ja hallittavuus, rakennuksen terveellisyys, viihtyvyys ja käyttökelpoisuus sekä rakenteiden käyttöikä ja elinkaaritulos. Rakenteellinen suunnittelu ja laskennallinen tarkastus ovat pääasiallisia keinoja toteuttaa rakennusfysikaalista suunnittelua. [35, s.17.]

Maankäyttö- ja rakentamislainsäädännössä määritellään myös rakennusfysikaalisen suunnittelun osalta suunnittelutehtävän vaatimustasot ja suunnittelijan kelpoisuus kyseiseen tehtävään. Maankäyttö- ja rakentamislainsäädännössä on määrättyä koskien rakennusfysikaalista suunnittelua, kuten asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta sekä vaatimukset rakennuksien energiatehokkuudelle. Edellä mainitut asetukset löytyvät ympäristöministeriön kotisivuilta ([www.ymp.fi](http://www.ymp.fi)) kohdasta Maankäyttö ja rakentaminen ja sieltä kohta Suomen rakentamismääräyskokoelma. Suunnittelijan on suunniteltava talorakennuksen rakenteet siten, että lainsäädännön edellyttämät tekniset vaatimukset täyttyvät koko rakennuksen osalta.

Kun suunnitellaan uutta rakennusta, siihen on laadittava energiaselvitys. Energiaselvityksen vaatimista selvityksistä rakennusfysikaalisen suunnittelun alueeseen kuuluu etenkin talon lämpöhäviölle asetetun lain vaatimuksen täyttyminen ja siihen kuuluvan rakennusosien lämmönläpäisykertoimien (U-arvo) laskenta, muut tarkistukset tekee yleensä LVI-suunnittelija. Rakennuksen lämpöhäviölle määrätyn vaatimuksen mukaisuus osoitetaan talon lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Tasauslaskennan lämpöhäviöihin sisältyvät rakennusosien U-arvot, ikkunoiden pinta-alat, ilmanvuotoluku sekä vuotoilmavirta ja vuosihyötysuhde ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotosta (LTO). Tasauslaskennan periaatteiden mukaisesti, jos jonkin näistä osatekijöistä vertailulämpöhäviö on suurempi, täytyy se taas vähentää vastaavasti toisen osatekijän lämpöhäviöstä. Yhteenlasketun lämpöhäviön tulee olla enintään vertailuratkaisun suurinen. [36, s.11.] Kuvassa 35 on esitetty vertailuarvot rakennusosien lämmönläpäisykerroimille. Ympäristöministeriö on julkaissut oppaan: ”Tasauslaskentaopas 2018; Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen”, johon on viitattu viitteessä 36. Opas käsittelee lämpöhäviöihin liittyvää tasauslaskentaa, rakennusvaipan ilmanpitävyyden osoittamista, lämmöntalteenottoon liittyvää vuosihyötysuhteen mitoitusta, sekä siinä on myös laskentaesimerkkejä tasauslaskelmista. Oppaassa tulee esille myös edellä mainittuun energiatehokkuus lakiin liittyvät vertailuarvot. Oppaassa määritellään kylmäsiilat, jotka tulee ottaa huomioon rakennusosien lämmönläpäisykerroimia laskettaessa.

<b>RAKENNUSOSAT</b>	
<b>U-arvot, W/(m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Vertailuarvo</b>
<b>Lämpimät tilat</b>	
Ulkoseinä	0,17
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	0,40
Yläpohja	0,09
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17
Alapohja (maanvastainen)	0,16
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16
Ikkunat	1,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,0
Kattoikkunat	1,0
Kattovalokuvut	1,0
<b>Puolilämpimät tilat ja siirtokelpoiset rakennukset</b>	
Ulkoseinä	0,26
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	0,60
Yläpohja	0,14
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,14
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,26
Alapohja (maanvastainen)	0,24
Muu maanvastainen rakennusosa	0,24
Ikkunat	1,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,4
Kattoikkunat	1,4
Kattovalokuvut	1,4
<sup>1)</sup> massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm	
<b>Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet</b>	Enimmäisarvo
Seinä ja välipohja	0,60
Ikkunat ja ovet	2,80
<b>Jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen väliset</b>	Enimmäisarvo
Seinä ja välipohja	0,27
Ovet	1,40

Kuva 35. Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot rakennusosille [36, s.14].

Kosteudenhallinnan suunnittelun päämääränä on mm. estää ja vähentää liiallisen kosteuden tunkeutumista rakenteeseen, turvata rakenteen hyvä kuivumiskyky, ehkäistä rakenteiden ja materiaalien vahingoittumista ja kohentaa sisätilan kosteusviihtyvyyttä. [37, s.271.] Uudisrakennukselle laaditaan kosteudenhallintasuunnitelma, jonka tavoitteena on ohjata työmaan toimintaa siten, että rakenteet saadaan kuivatettua suunnittelussa aikataulussa sekä voidaan välttää mahdolliset työmaa-aikaiset kosteusongelmat.

Ilman siirtymisen hallinnan suunnittelun päämääränä on mm. lisätä rakennuksen vaiipan ilmatiiveyttä, estää ilmavirtausten takia aiheutuvia haittavaikutuksia rakennuksen sekä vaipparakenteen sisällä ja kohentaa sisätilan ilman laatua. [37, s.271.]

Kun valitaan sopivaa kiinnikettä ja sen materiaalia rakenteeseen, tulee huomioida kiinnikkeen kestävyys, rakenteen kestävyys, käyttöikävaatimus, ympäristökijät sekä kiin-

nikkeiden ja kiinnitettävien materiaalien keskinäinen sopiminen yhteen. Esimerkiksi metalleilla syntyy korroosiopari kahden eri jalousasteeltaan erilaisen metallin välille, kun ne ovat kosketuksissa toisiinsa sekä metallisesti että elektrolyytin kautta. Metallien välille syntyy tällöin galvaaninen pari. Mitä kauempana metallit ovat toisistaan galvaanisessa jännitesarjassa sitä nopeampaa epäjalomman metallin syöpyminen on. Syöpymisnopeuteen vaikuttaa lisäksi ympäristöolosuhteet, metallien pinta-alaero, elektrolyytin kuten veden sähkönjohtavuus ja vaikutusaika. [38, s.2.] Viitteestä 38 saa lisätietoa eri metallien sopivuudesta keskenään. Myös esimerkiksi kyllästetyn puutavaran kiinnityksessä käytetään ruostumattomia tai haponkestäviä kiinnikkeitä, jotka kestävät puun kyllästysaineiden sisältämien metallisuolojen räsitukset, varsinkin silloin kun on kyse kantavista tai henkilövahinkoja kannalta merkittävistä rakenteista. [39, s.5.]

Rakennusfysiikan suunnitteluun löytyy apuja kirjoista RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset; Unto Siikanen, Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia 2014, jossa on käyty läpi rakennusfysiikan perusteet ja mm. U-arvon- ja kosteuden kulun laskenta rakenneosassa laskentaesimerkein sekä Tampereen teknillisen yliopiston kustantama ja toimittajina toimineiden Juha Vinhan ja Anu Aaltosen kirja Rakennusfysiikka 2013 (seminarijulkaisu 3) Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. RIL 255:stä on työn alla toinen osa: ”Rakennusfysiikan teoria ja laskentasovellukset”, jossa tulee esille mm. U-arvon laskenta. Erityisesti kosteusteknistä suunnittelua ja toteutusta on käsitelty RIL255:n lisäksi kirjoissa RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, RIL 126 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus sekä RIL 250 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Rakennusfysiikan laskelmiin on olemassa laskentasovelluksia. Laskentaan liittyviä ohjelmistoja löytyy eri valmistajien kotisivujen kautta, kuten esimerkiksi [www.wufi.de](http://www.wufi.de), [www.dof.fi](http://www.dof.fi), [www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi) (mitoitushjelmat), [www.paroc.fi](http://www.paroc.fi) (laskurit) ja [www.lamit.fi](http://www.lamit.fi).

## 6.2 Alapohjarakenteiden lämpötekniinen suunnittelu

Yleisesti lämpötekniisen suunnittelun päämääränä on mm. vähentää rakennuksen lämpöenergian kulumista, ehkäistä rakenteiden ja materiaalien vahingoittumista ja kohentaa sisätilojen lämpöviihtyvyyttä. Lämmöneristeiden suunnitteluun kuuluu lainsäädännön edellyttämien lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden toteen näyttäminen, lämmöneristeiden ja niiden asennustavan valinta, suunnitella rakennuksen ilmatiiveys ja tuulensuojaus, tarkastella mahdolliset kylmäsilat ja pintalämpötilat, suunnitella putkien

ja hormien eristykset sekä suunnitella rakennuksen routasuojaus. [37, s.271, 275.] Perustettaessa rakennus suoraan maan päälle, muuttuu lämpötilakenttä rakennuksen alapuolella ja ympärillä. Rakennus toimii tällöin lämmönvastuksena, joka eristää ja taltoi maasta tulevaa lämpösäteilyä. Toisaalta myös itse lämmitetty rakennus välittää maahan lämpöhäviöiden takia lämpösäteilyä, joka vaikuttaa monia metrejä rakennuksen ulkopuolelle. Käyttämällä rakennuksen ulkopuolella lähellä maanpintaa riittävää määrää routaeristeitä, saadaankin kesäaikana maahan varastoituneen lämmön siirtyminen estettyä ja siirrettyä 0°:n isotermiä kauemmaksi rakennuksesta. Routaeristeiden käyttö estää tällöin myös mahdollisen routimisen. [40, s.29.]

### 6.2.1 Lämmöneristyksen suunnittelu

Suunnittelija valitsee lämmöneristeen siten, että se soveltuu ominaisuuksiltaan ja käyttöältään sen käyttötarkoitukseensa. Lämmöneristeen valintaan vaikuttavia asioita ovat mm. sen lämpötekniinen-, kosteustekniinen-, palotekniinen- ja akustinen ominaisuus, kestävyys kuormitukselle esim. maanvaraisen laatan alle tulevan eristeen puristuslujuus ja painuma puristuksessa, käyttökohteen erityispiirteet, asennettavuus, eristeen ilmaläpäisevyys, pitkäaikaiskestävyys, ympäristönäkökohdat sekä eristeen valinta siten, että ei olisi riskiä asennusvirheille. Lämmöneristeiden sijoituksessa alapohjaan tulee kiinnittää huomiota erityisesti ulkoseinän, sokkelin ja alapohjarakenteen liittymään, jossa lämmöneristeet tulee sijoittaa toisiinsa nähden siten, ettei tähän rakenteiden liittymään muodostu kylmäsiltaa.

Maata vasten tehdyn rakenteen lämmöneristyksen määrä suunnitellaan määräysten mukaisesti. Maata vasten rakennetun alapohjan lämmöneristeellä vähennetään lämpöenergiavirtaa, joka virtaa rakennuksesta maapohjaan ja tätä kautta vähennetään myös lämmitysenergian kulutusta. Rakennuksessa oleva sisälämpötila ja alapohjarakenteen läpi kulkevan lämmön suuruus vaikuttavat ensisijaisesti maata vasten rakennetun alapohjan lämpötilaan. Lämmön siirtyminen on sitä suurempaa mitä pienempi on alapohjarakenteen lämmönvastus. Siirtyvä lämpö lämmittää jonkin verran alapohjarakenteen maakerrosta. Jos maanvaraisen laatan alla ei käytetä lämmöneristettä, voi maapohjan lämpötila nousta lähelle sisätilan lämpötilaa. Koska maanvastaisten alapohjarakenteisiin kosketuksissa olevan pohjamaan suhteellisen kosteuden oletetaan olevan aina 100%, on lämmöneristeille vaikutusta myös alapohjarakenteen vesihöyryn diffuusiovirtaan. Lämpimämpään ilmaan mahtuu enemmän vesihöyryä ja mitä lämpimämpää alapohjarakenteessa on, sitä isompi on maapohjassa olevan vesihöyryn osapaine, joka

pyrkii tasaantumaan huoneilman alhaisemman vesihöyryn osapaineen kanssa. Kosteusvirta on silloin alhaalta ylöspäin. Riskinä on, että rakennekerrosten kosteuspitoisuudet kasvavat ja kriittinen kosteuspitoisuus ylittyy. Tällöin esimerkiksi liian tiiviin lattiapäällysteen alle voi muodostua kondenssitila ja vesi hajottaa lattiapäällysteen tai tiiviin lattia kerroksen alle voi syntyä mikrobikasvustoja. Vaurioita voi syntyä jo pelkästään liian suuren suhteellisen kosteuden takia. Juuri alapohjarakenteen vesihöyryn diffuusioilmion vuoksi lämmöneriste tulee suunnitella koko maanvaraisen laatan alle, vaikka sitä ei energian kulutuksen kannalta välttämättä rakennuksen keskialueella tarvittaisiin. Kun tehokkaalla lämmöneristeellä saadaan erään ruotsalaisen tutkimuksen mukaan lämpötilaero 2-3°C:ta lämmöneristeen eri puolille, ei kriittisen kosteuspitoisuuden pitäisi ylittyä missään rakennekerroksessa [41, s.8-9, 19–21.] Lämmöneristeen suunnittelussa maanvaraiseen alapohjaan tulee huomioida, että rakennuksen reuna-alueilla olosuhteet ovat eri kuin rakennuksen sisäosilla. Reuna-alueilla talvella maapohja kylmenee, jolloin maanvastaisilla rakenteilla perusmaa muodostaa lämmönsiirtymiselle erilaisen vastuksen maanvaraisen alapohjan alla sokkelin vierellä kuin rakennuksen keskialueella, joka huomioidaan U-arvon laskennassa. Kantavilla maata vasten valettavilla laatoilla tulee painuvilla mailla kiinnittää lämmöneristeet laattaan, jotta lämmöneriste ei painu painuvan maan mukana ja synny ilmarakoa lämmöneristeen ja betonilaatan välille.

Ryömintätilalliseen alapohjaan tarvittava lämmöneristykseen määrä suunnitellaan määräysten mukaisesti. Kuitenkin tulee huomioida, että ryömintätilaisen alapohjan liiallisella lämmöneristämällä voidaan lisätä kosteusteknisiä riskejä, sillä alapohjarakenteen alaosa on silloin kylmempi ja kosteampi. Ryömintätilainen alapohjan rakenne on suunniteltava ilmatiiviiksi ja rakenteiden jotka sijaitsevat alapohjaa vasten tulee kestää hyvin kosteutta. [35, s.159.] Betonirakenteinen alapohja, esimerkiksi ontelolaatoilla toteutettu alapohja, kannattaa tehdä siten, että hyvin kosteutta kestävä lämmöneriste sijoitetaan sen alapintaan. Tällöin ontelolaatat ovat lämpimällä puolella ja pysyvät kuivana ja ne voidaan suunnitella rasitusluokassa XC1. Tällöin tulee kuitenkin huomioida eristää myös perusmuurin pystyseinä alapohja tilan puolelta vähintään 1 metrin matkalta pystysuunnassa, jotta estetään kylmäsilan muodostuminen. EPS-eristeillä tulee huomioida, että käytetään syttymistä hidastavilla lisäaineilla käsiteltyä S-tunnuksella merkittyä eristettä. Ryömintätilaisen alapohjan maan lämmöneristäminen esimerkiksi kevytsoralla parantaa ryömintätilan olosuhteita.



Kellarin seinän lämmöneristyksen tarvittava määrä suunnitellaan määräysten mukaisesti. Kellarin seinässä lämmöneriste kannattaa sijoittaa maan alla rakenteen ulkopintaan. Lämmöneristyksen ja kellarin seinän väliin tulee vedeneristys, jolloin lämmöneriste toimii myös vedeneristyksen suojana. Vedeneriste toimii rakenteessa myös ilmasulkuna ja sen ollessa lämpimässä pinnassa, kosteuden kondensoitumista ei pääse tapahtumaan ja kellarin seinä voi kuivua sisälle päin. [35, s.160.] Perusmuurin lämmöneristyksen suunnittelussa pyritään siihen, että syntyy mahdollisimman yhtenäinen eristys ulkoseinän, alapohjan ja perusmuurin lämmöneristyksen välille. Perusmuurin lämmöneriste ulotetaan maanpinnan alle vähintään routasuojauksen alapintaan asti. Myös perusmuurin tapauksessa lämmöneristeen paras sijoituspaikka olisi ulkopinnassa, mutta koska se on teknisesti vaikea toteuttaa maanpinnan yläpuolella olevan mekaanisen rasituksen ja kosteusrasituksen vuoksi synnyttäen mahdollisesti kylmäsillan sekä ulkonäköongelman, laitetaan eriste ns. sokkelihalkaisuun. Myös sokkelin sisäpinnassa kannattaa käyttää lämmöneristettä.

#### 6.2.2 Routasuojauksen suunnittelu

Routimista ilmiönä ja sen määrittämistä on käsitelty luvussa 3.3.3. Tässä luvussa käsitellään itse routasuojauksen suunnittelua. Routasuojaukseen käytetään, jotta voidaan estää roudasta aiheutuvien vahinkojen syntymistä. Talorakentamisessa routa voi aiheuttaa mm. liikkeitä, jotka aiheuttavat jäykissä rakennuksissa, kuten betoni ja tiilitaloissa halkeamia. Kantavien rakenteiden liikkeet voivat hajottaa myös kevyitä rakenteita, kuten väliseiniä ja ikkunoita. Joustavaan rakennukseen, kuten hirsitaloon, voi syntyä roudan aikaisia liikkeitä, joista tulee käyttöhaittoja. Routa voi nostaa rakennuksen viereltä maata siten, että maa kallistuu taloon päin ja kosteusrasitus lisääntyy. Rakennusten liitoskohtiin voi syntyä vaurio, kun esimerkiksi kylmä rakennus, joka on liitetty lämpimään rakennukseen, rupeaa liikkumaan routimisen vuoksi. Piha-alueiden päällysteisiin voi tulla vaurioita ja epätasaisuuksia epätasaisesta routimisesta johtuen. Maapohjan kantavuus huonontuu silloin, kun routa alkaa sulaa. Pääasialliset keinot roudan estämiseksi on käyttää routaeristeitä, routimattomia täyttöjä tai perustaa rakennus raudattomaan syvyyteen asti. Routaeristeenä käytetään pääsääntöisesti solumuovista tehtyjä levyjä, kuten EPS ja XPS; mutta myös kevytsoraa, vaahtolasia sekä erilaisia teollisuudesta tulevia sivutuotteita. Työnaikaisia routaeristyskeinoja on esimerkiksi muovipäällysteiset mineraalivillamatot ja solumuovit. Routasuojauksen suunnitteluun vaikuttaa rakennuksen elinkaari, jonka mukaan päätetään myös routasuojauksen mitoittavimman tilanteen toistuvuus ja todennäköisyys. Routaeristerakenteen tulee kestää ja säilyttää omi-

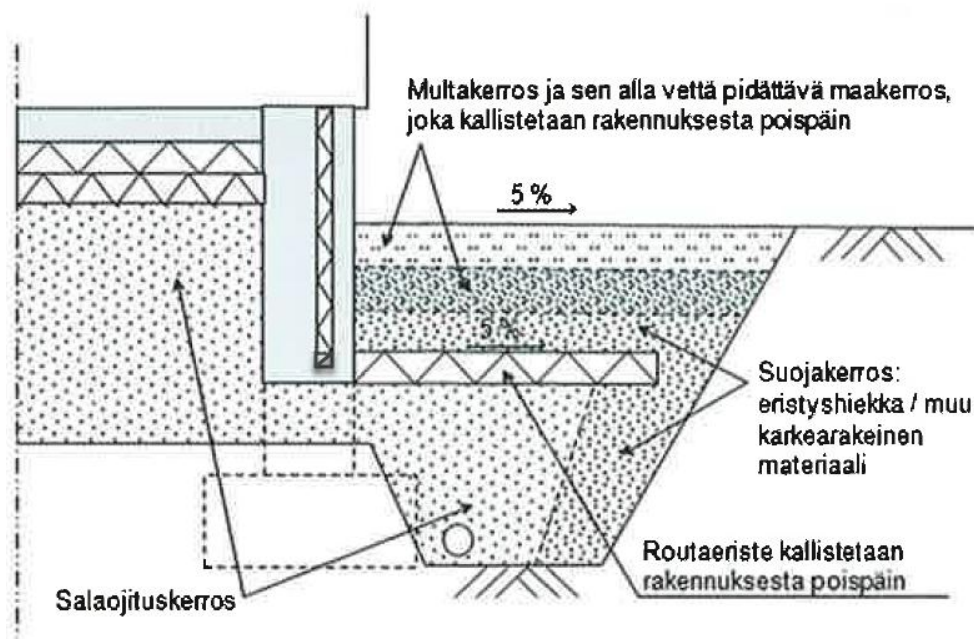
naisuutensa koko tämän suunnittelussa määritetyn käyttöajan. [13, s.13, 55-56, 65.] Kun suunnittelija suunnittelee routivaan maaperään rakennetta, tulee rakenteen ympäristön olla kokonaisuudessaan kuivattu ja routasuojattu, jotta routiminen tai jäätympaisuminen ei riko rakenna.

Lämpimän rakennuksen ympärille tulevaan routasuojauksen määrään vaikuttaa rakennuksen sisälämpötila, rakennuksen alapohjassa ja perusmuurissa käytetty lämmöneriste ja sen määrä, alapohjassa käytetyn lämmöneristeyksen etäisyys rakennuksen ulkopuolen maanpinnasta, ryömintätilallisen alapohjan lämpötila ja tuuletus sekä korkeus, perustuspaikan maalajin routivuus, perustusten syvyys, rakennuksen muoto, vaikuttava pakkasmäärä, onko rakennuksen viereinen maanpinta lumeton, sekä käytetyn routaeristeen lämmönvastus. Kylmän rakennuksen routasuojauksen määrään vaikuttaa pakkasmäärä, perustussyvyys, routaeristeyksen paikka, routaeristeyksen alapuolelle tulevan routimattoman kerroksen paksuus ja se voidaanko lumen suojaavaa vaikutusta hyödyntää. Mitä kylmempää rakennuksessa on tai mitä enemmän rakennuksen alapohjassa on käytetty lämmöneristettä, sitä enemmän tarvitaan routasuojauksia rakennuksen ympärillä, sillä rakennuksesta tuleva lämpövirta ei lämmitä enää maaperää. Myös rakennuksen ulkonurkissa tarvitaan enemmän routasuojauksia, sillä siellä routa pääsee tunkeutumaan syvemmälle kuin rakennuksen ulkoseinälinjoilla. Mitoituspakkasmäärä vaikuttaa siihen, kuinka pitkälle nurkasta routasuojaus ulotetaan. Tämän nurkkavaikutuksen katsotaan ulottuvan 1,5 – 2,5 metrin päähän rakennuksen nurkasta seinälinjalle. [13, s.80–82, s.92–93.] RIL 261–2013 kirjassa on esitetty tarvittava lämpimän rakennuksen routasuojauksen leveys sivuilla 92–93 sekä kylmän rakennuksen tarvittava routasuojauksen leveys sivuilla 120–121. Routasuojauksen leveydessä tulee huomioida, että ohjeessa esitetty mitta B on anturan ulkopinnasta, ei sokkelin tai peruspilarin ulkopinnasta.

Routaeristeelle asetetaan vaatimuksia mm. sen lämmönjohtavuudelle, kosteuden pääsulle ja vaikutukselle eristeeseen, pakkasenkestävyydelle, kuormituskestävyydelle, kestoille ja ympäristökelpoisuudelle. Lämmöneristeet ovat harmonisoidun tuotestandardin piirissä, joten routaeristeykseltä vaaditaan CE-merkintä. Jotta routaeristeet toimivat suunnitellulla tavalla tulee kiinnittää huomiota myös olosuhteisiin, missä ne ovat. Routaeristeiden yläpuolelle suositellaan lämpötilaa tasaavaa maakerrosta, kosteuden ja veden pääsyä hidastavaa maakerrosta sekä tarvittaessa jännityksiä tasaavaa maakerrosta. Routaeristeiden alapuolelle suositellaan kuivatuskerrosta, joka estää alaspäin tulevan kosteuden pääsyn eristemateriaaliin ja samalla viivyyttää tällä tavoin routivaan

maapohjaan tunkeutuvaa routaa. Routaeristelevyt, joita käytetään rakennuksen ympärillä, kallistetaan rakennuksesta poispäin vähintään 2 cm / 1 m, jotta niiden päälle mahdollisesti pääsevä sadevesi valuu poispäin rakennuksesta. Routaeristelevyt laitetaan tiiviisti toisiaan sekä perustuksia vasten. Useampaa routaeristyslevyä käytettäessä limitetään eristeiden saumat. Routaeristeen päälle tulevan maakerroksen suositeltu paksuus on vähintään 300mm. Kuvassa 36 on esitetty salaojitetun ja routasuojauksella suojatun matalaperustetun rakennuksen rakennekerrokset. Muovikalvoa ei tarvita routaeristelevyn päälle, sillä routasuojaukseen tarkoitettut EPS-levyt, kuten EPS 120 Routa, on itsessään tiivis ja riittävästi kosteutta ja vettä kestävä. Lattiaan ja alapohjaan tarkoitettuja EPS-levyjä ei tule käyttää sokkelin ulkopuolella routasuojauksessa, sillä niiden solurakenne ei ole yhtä tiivis kuin routaeristeille, eivätkä ne kestä yhtä vaativia kosteusoloja.

Koska täysin kuivana säilyvää routaeristettä ei ole havaittu 30–50 vuoden aikajänteellä, myös lämmönjohtavuuden arvon  $\lambda_U$  määrittämisessä lähdetään siitä, että routaeristys voi olla kontaktissa kosteana olevan maa-aineksen kanssa. Mutta routaeriste ei saa kuitenkaan olla pohjavedessä tai painovoimaisesti kulkevassa vedessä. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon  $\lambda_U$  saa useimmiten suoraan eristevalmistajalta, joka on jo huomioinut lämmöneristeen lämmönjohtavuudessa lämpötilan, kosteuden ja vanhenemisen muuntokijät. RIL 225:ssä on esitetty routaeristeisiin liittyvän suunnitteluarvon  $\lambda_U$  mitoitus tarkemmin. [13, s.61–63, s.110.] Routasuojauksen suunnitteluun on julkaistu ohje RIL 261–2013, jossa on kattavasti käsitelty routasuojauksen suunnittelua ja mitoitusta laskentaesimerkein, kuten routa- ja lämmönerityksen paksuutta ja routasuojauksen leveyttä rakennuksen perustusten ulkopinnasta. Kyseisen opuksen taulukossa 5.1 (s.65) on esitetty myös eri eristevalmistajien ilmoittamia yleisimpiä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Useat routaeristeiden valmistajat antavat ohjeistusta routaeristeen laskentaan ja käyttöön, esimerkiksi Finnfoam:in kotisivuilta löytyy ilmainen mitoitusohjelma routa- ja alapohjaeristeiden mitoitukseen.



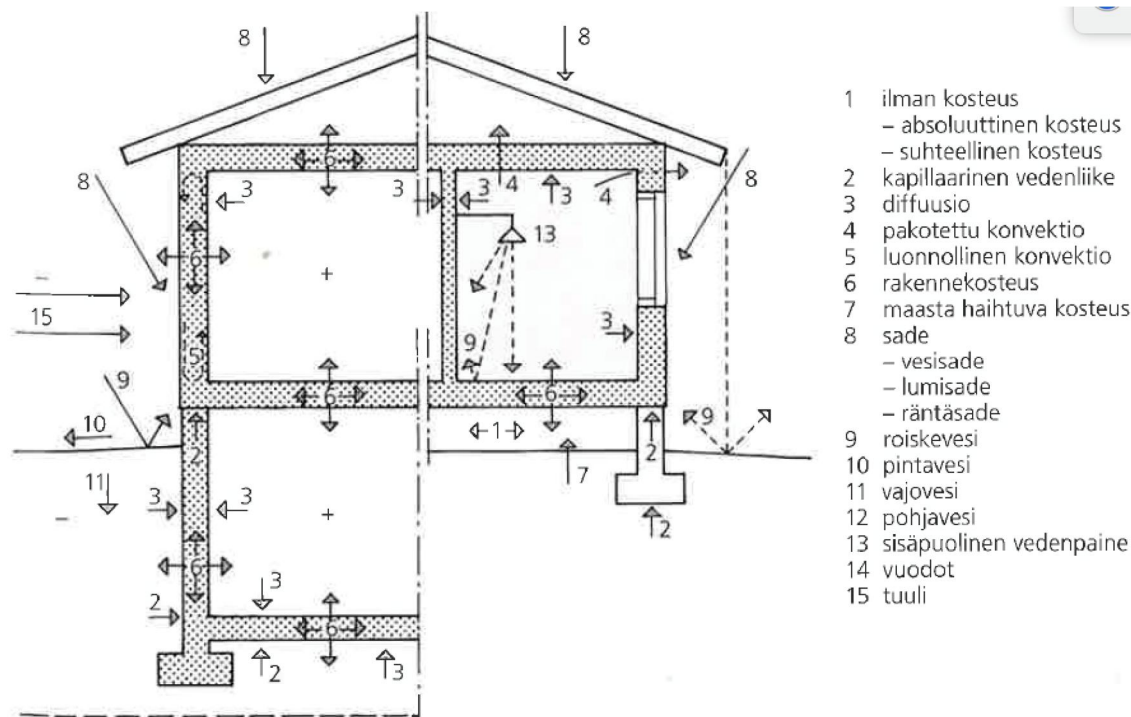
Kuva 36. Rakennekerrokset routasuojatussa ja salaojitetussa matalaperustuksessa [13, s.104]

Talon perustusten rakentamisvaiheessa tulee varmistaa, että perustusten alle ei jää jäätynyttä maata, joka sulassa heikentää maan kantavuuden ja aiheuttaa painumaa. Tämä voidaan varmistaa työnaikaisella routasuojauksella tai sulattamalla maapohjaa. Myös paalutettu maa tulee suojata routasuojauksella, jos ei voida muuten osoittaa, että paalut eivät nouse tai katkea routimisesta johtuen. Routasuojausesteristen sallittua kuormitusta on rajoitettu, mikä pitää huomioida suunnittelussa. Routasuojausesteristemateriaalin liiallinen kuormitus voi aiheuttaa eristelevyn kokoonpuristumisen, jolloin sen eristyskyky pienenee. Eli jos tiedetään, että eristelevyjen päällä joudutaan esimerkiksi työnaikana liikkumaan raskailla ajoneuvoilla, tulee routaeristys suojata riittävän jäykällä päällysrakenteella. [13, s.58–59, 75.]

### 6.3 Alapohjarakenteiden kosteudenhallinnan suunnittelu

Rakennuksen rakenteet tulee suunnitella ja rakentaa siten, että niihin ei tule käyttökänsä aikana kosteudesta johtuvia rakenteellisia, esteettisiä tai toiminnallisia vaurioita. Kosteusteknisessä suunnittelussa huomioidaan kaikki rakennusta rasittavat kosteuslähteet sekä eri kosteuden siirtymismuodot. Kuvassa 37 on esitetty kosteusrasitukset, jotka vaikuttavat rakennuksen kosteustekniseen toimintaan. Rakennuksen alapohjassa suunnitteluun vaikuttavia kosteusrasituksia ovat erityisesti tuulettuvan alapohjan

ilman kosteus, kapillaarinen vedenliike, diffuusio, rakennekosteus, maasta haihtuva kosteus, rakennuksen viereen ja erityisesti rakennuksen alaosiin vaikuttava vesi- ja lumisade ja pohjavesi. Kun kosteuslähteet huomioidaan rakenteiden suunnittelussa, rakentamisvaiheessa työmaalla ja rakennuksen käytön aikana huoltotoimenpitein, ei kosteus itsessään aiheuta vaurioita. Mahdollinen kosteusvaurio johtuu jonkin em. kohdan virheellisestä toteutuksesta.



Kuva 37. Kosteudesta aiheutuvia rasituksia [40, s.65]

Alapohjarakenteiden kosteudenhallinnan suunnittelussa tavoitteena on luoda rakenneratkaisu, jolla estetään mahdollisimman tehokkaasti kosteuden pääsy rakenteeseen tai rakennuksen sisätiloihin, mahdollistetaan ylimääräisen kosteuden pääseminen pois rakenteesta mahdollisimman nopeasti, huomioidaan rakennesuunnittelussa rakennusmateriaalien eri turmeltumisilmiöt ja kestävyys koko rakennuksen käyttöajan mahdollisten rasittavien lämpötila- ja kosteusolojen vaikuttaessa rakenteiden eri kohdissa, sekä varmistetaan liitos- ja erikoiskohtien toimivuus. [37, s.280.] Alle on koottu yksittäisiä asioita, jotka mahdollistavat edellä mainittuihin tavoitteisiin pääsemiseen. [40, s.15.; 35, s.152-153; 43.]

- Rakennuskohteelle tehdään yksilöity kosteudenhallintasuunnitelma.

- Rakennus sijoitetaan tontille siihen sijaintiin ja korkeusasemaan, että rakentamisvaiheessa sekä käytön aikana pohjavesi tai pintavesi eivät rasita rakennusta. Rakennustontin pintamaa muotoillaan siten, että pintavedet johtuvat rakennuksesta pois päin. Rakennuksen korkeusasema valitaan siten, että pohjaveden pinnan ja rakennuksen perustusten etäisyys on mahdollisimman kaukana toisistaan. Rakennuksen korkeusaseman valinnassa huomioidaan ennustettu ylin tulvakorkeus. Rakennuksen alapohjan lattian sijoitus selvästi ulkopuolista maanpintaa korkeammalle, vähintään 0,3 metriä, lukuun ottamatta kellarillista ratkaisua.
- Ohjataan kattovedet siten, että ne eivät rasita rakennuspohjaa.
- Rakenneosien rakennekerrosten suunnittelu siten, että sisäilmasta tai maaperästä tuleva vesihöyryn kondensoituminen tai alapohjarakenteita rasittava haitallisen korkea kosteuspoitaisuus estetään. Suunnitellaan rakenteet siten, että mahdollinen kosteus pääsee kuivumaan tuulettamalla esim. yhtenäisten tuuletusvälien avulla. Rakenteeseen ei tule suunnitella useampaa huonosti vettä läpäisee kerrosta, ellei tuulettamista ole varmistettu. Jos rakenne on alttiina jatkuvalle kosteudelle, tulee materiaalit valita siten, että ne kestävät kosteutta. Mahdollistetaan joka tapauksessa rakenteista rakennusaikaisen kosteuden poistuminen. Varsinkin pintamateriaalit, jotka haittaavat rakennuskosteuden poistumista rakenteesta, tulee asentaa vasta, kun rakenne on kuivunut tarpeeksi.
- Kaikki rakenneosat, jotka tulevat maaperästä sisätiloihin, pidetään kuivina.
- Käytetään toimivaa vedenpoistoratkaisua veden poistamiseksi rakennuspohjasta, pääsääntöisesti salaojitusta ja salaojituskerroksia.
- Pyritään minimoimaan rakenteen pinnoilla vaikuttava vesirasitus aika.
- Hyödynnetään maalajien ominaisuuksia ja muotoja, kuten salaojitussoran käyttö esimerkiksi estettäessä veden kapillaarista nousua perustuksiin ja alapohjarakenteisiin.
- Käytetään rakenteessa höyryn- ja ilmansulkuja ja estetään rakennusvaipan ilmavuodot, jotta saadaan suojattua rakenteet vesihöyryn diffuusiolta sekä vesihöyryn konvektiolta.
- Huolehditaan ryömintätillaisen alapohjan riittävästä tuuleuksesta sekä estetään vesien valuminen ryömintätilaan. Käytetään ryömintätillan maapohjassa lämmöneristystä. Mahdollistetaan pääsy ryömintätilaan ja suunnitellaan se lain mukaan vähintään 0,8 metriä korkeaksi.
- Käytetään kosteusrasitetussa rakenteessa riittävää vedeneristystä. Jos rakenteisiin vaikuttaa vedenpainetta, tulee niihin suunnitella vedenpainetta kestävä

eristys, joka kestää tätä painetta sekä estää veden pääsemisen rakenteen lävitse.

- Huomioidaan suunnitelmissa vesivuotojen mahdollisuus. Vesivuotojen tulee tulla mahdollisimman nopeasti esille ja vuodosta aiheutuva haitta ei saa olla kohtuuttoman suuri.
- Poistetaan rakennuksen alta ja vierestä täytöistä kaikki orgaaninen aines sekä humusmaa ja poistetaan asiallisesti myös rakentamisesta aiheutuvat jätteet.
- Kaikki rakennusmateriaalit on suojattava rakennusaikana vahingolliselta kosteudelta.
- Käytetään suodatinkankaita erottamaan hienoaines ja kapillaarista veden nousua estävä karkearakeinen täyttö, esimerkiksi perusmaan hienoainesta estetään suodatinkankaalla sekoittumasta kapillaarista veden nousua estävään salaojitusoraan.
- Käytetään sokkelin päällä tai maanvastaisen betonilaatan päällä kumibitumikermiä estämään kosteuden siirtyminen puurunkoisen seinän aluspuuhun tai tiilirakenteeseen.

### 6.3.1 Rakennusalueen kuivatus ja rakennuksen korkeusasema

Rakennus tulisi määrittää sellaiseen korkeusasemaan, että pintavesistä, maaperään imeytyneestä vedestä, pohjavedestä, maanpinnasta roiskuvasta sadevedestä tai lumesta ei aiheudu rakennukselle haittaa. Rakennuksen korkeusasema kannattaa valita siten, että rakennuksen perustusten ja pohjaveden väliin jää riittävästi etäisyyttä. Varsinkin, jos rakennetaan rannoille tai tulvavaara-alueille, tulee vedenpinnan korkeusvaihtelut selvittää tarvittavalla varmuudella. Jos rakennetaan pohjaveden alapuolelle, tulee se huomioida rakenneratkaisuissa ja työmaan toiminnassa. Alapohjan valmiin lattiapinnan koron, varsinkin maanvastaisilla alapohjilla ja lukuun ottamatta kellarillista ratkaisua, tulisi olla vähintään 0,3 metriä ulkopuolista maanpintaa ylempänä. Jos tähän ei jostakin syystä, esimerkiksi esteettisestä syystä päästä, tulee varmistaa pintavesien pois johtaminen rakennuksen läheisyydestä, perustusten kuivatus sekä vedeneristää sokkelin ulkopinta, jotta vesi ei pääse imeytymään kapillaarisesti rakenteeseen. [43, s.18–19, 25.]

Sade- ja sulamisvedet johdetaan rakennuksen läheltä riittävällä maanpinnan kallistuksella ja sadevesijärjestelmällä. Tarvittavana maanpinnan kallistuksena rakennuksesta pois päin pidetään 1:20. Maanpinnan tarvittava korkeusero sokkelin ulkopinnasta läh-

dettäessä 3 metrin etäisyydellä rakennuksesta on vähintään 0,15 metriä. Vaikealla tontilla voidaan veden poisto tehdä vastakallistuksissa ja niskaojalla rakennuksen ohitse. Sade- ja pintavesien pääsy suoraan salaojiin estetään rakennuksen vieressä pinta-maan alapuolisella heikosti vettä läpäisevällä maa-aineskerroksella, ks. kuva 36. Kattovedet ohjataan sadevesijärjestelmän avulla sadevesiviemäriin, imeytetään maaperään tai ohjataan avo-ojia pitkin pois tontilta. Jos lähellä on kunnan sadevesiviemärinti, vedet johdetaan tavallisesti siihen. Kattovedet eivät saa rasittaa rakennuspohjaa. Maaperään vesiä imeytettäessä tulee selvittää maaperätutkimuksella, että vesi pystyy riittävästä imeytymään maaperään, eikä siitä tule haittaa esimerkiksi rakennuksille tai naapuritonteille. [42, s. 49–50.]

### 6.3.2 Rakennuksen maapohjan salaojitus

Rakennuspohjan salaojituksen tarkoituksena on katkaista veden kapillaarinen virtaus, pitää pohjavesipinta riittävän kaukana lattiapinnasta tai ryömintätilan maanpinnasta, pitää mahdollisesti pintavesistä imeytyvät vedet pois rakennuksen vierestä ja alta. Kuitenkaan salaojajärjestelmään ei johdeta pintavesiä tai kattovesiä. Salaojajärjestelmä voidaan jättää tekemättä ainoastaan siinä tapauksessa, että on tarkasti selvitetty maaperätutkimuksella, että maa on tarpeeksi vedenläpäisevää ja pohjavesipinta on niin syvällä, että talon käyttöiän aikana se ei rasita rakennuspohjaa. Salaojina toimivat yleensä salaojaputket, jotka kallistetaan vähintään 1:200, mutta tavallisesti 1:100 ja varsinkin rakennuksen alla kaltevuuden tulee olla vähintään 1:100. Tyypillisesti salaojaputkista vesi ohjataan tarkastuskaivoihin, sieltä kokoojakaivoon ja lopuksi sadevesikaivoon. Salaojaputken yläpinnan tulee olla vähintään 0,4 metrin etäisyydellä alapohjarakenteen lämmöneristeen alapinnasta, kuitenkin siten se on kapillaarisen veden nousun estävän salaojituskerroksen alapuolella. Salaojaputken koon tulisi olla vähintään DN 100mm. Salaojat sijoitetaan mahdollisimman lähelle anturaa, mutta kuitenkin siten, että salaoja ei heikennä anturan kantavuutta. Salaojan tulee olla tällöin maanvaraisen anturan alapinnan ulkoreunasta katsottuna vähintään kaltevuuden 1:2...1:3 yläpuolella. Salaojaputken yläpinnan tulisi olla rakennuksen anturoiden alapinnan alapuolella. Jos salaojat joudutaan nostamaan anturoiden alapinnan yläpuolelle, estetään kapillaarinen veden nousu anturoista seinärakenteisiin käyttämällä anturoiden yläpinnassa kapillaarikatkoa. Salaojien jäätyminen tulee estää sijoittamalla ne joko raudattomaan syvyyteen tai käyttämällä routaeristeitä, kuitenkin salaojat tulisi sijoittaa aina vähintään 0,5 metriä maanpinnan alapuolelle. Salaojaputken sivuilla ja päälle tulee olla vähintään 0,2 metriä salaojitussoraa. [42, s.50–51.]



Kaivuu pohja ja sen päällä oleva salaojituskerros tulee kallistaa salaojiin päin. Rakennuksen alapuolisen salaojituskerroksen tulee olla yhteydessä perustusten ulkopuoliseen salaojia ympäröivään salaojituskerrokseen. Tämä onnistuu esimerkiksi tekemällä anturoiden alle salaojitusuria tai käyttämällä putkia. Tässä tulee kuitenkin huomioida anturan kantokyky, jotta sitä ei suunnittelematta heikennetä. Salaojituskerroksen minimipaksuus rakennuksen alla on 0,2 metriä. Myös rakennuksen pystysuuntaisen salaojituskerroksen sokkeliä tai kellarin seinää vasten tulee olla vähintään 0,2 metriä. Salaojituskerrokset erotetaan perusmaasta suodatinkankailla. Salaojituskerroksen paksuus määräytyy sen kyvystä katkaista veden kapillaarinen nousu. [42, s.51.]

RIL 126–2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus julkaisussa on esitetty ohjeistus salaojien mitoituksesta, kuivatussuunnitelman piirustusmerkinnöistä sekä esimerkkiratkaisuja eri perustamistapoihin liittyviin salaojituksiin.

### 6.3.3 Maanvastainen alapohjarakenne

Alapohjarakennetta vasten oleva maa aiheuttaa rasisympäristön, jossa on tavallista hitaammat olosuhdemuutokset kuin ilmaa vasten olevilla rakenteilla. Vuodenajat ja sääolot vaikuttavat kosteusrasitukseen ja lämpötilaoloihin ja niiden aiheuttamat olosuhdemuutokset alapohjassa tapahtuvat sitä hitaammin mitä kauempana ollaan ulkoilmasta. Maa-aineksen huokostilan suhteellinen kosteus oletetaan aina olevan 100% eli lämpötilan noustessa myös vesihöyrypitoisuus kohoaa. Luvussa 6.2.1 on käsitelty lämmöneristyksen merkitystä koko alapohjassa vesihöyryn diffuusioilmiön vuoksi. Rakenteen maanvastaiseen pintaan tulee rasituksia joskus vapaasta vedestä, kuten vajovesistä, kapillaarisesti nousevasta vedestä ja pohjavedestä. Pohjaveden alapuolisissa rakenteissa on otettava huomioon vedestä aiheutuva hydrostaattinen paine. Rakennuksen sisäpuolen kosteusoloihin vaikuttaa ulkoilmassa oleva kosteus, mm. rakennuksen käytön ja ilmanvaihdon kautta syntyvä sisäilman kosteuden kosteuslisä, käyttövesi sekä rakentamisen jälkeen rakenteisiin jäänyt rakennuskosteus. [35, s.151.]

Alapohjalaatan yläpinnan tulee olla 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolista maanpintaa ylempänä, jos tähän ei päästä tehdään luvun 6.3.5 mukainen vedeneristys sokkelin ulkopintaan. Alapohjalaatan yläpuoliset puurakenteet ja tiilirakenteet erotetaan kivirakenteesta esimerkiksi kumibitumikermillä. Puurakenteita ei tule suunnitella maanvarai-

sen laatan yläpinnan alapuolelle. Kosteuden nousu lattiapintaan asti estetään salaojituskerroksella. Maanvaraisen alapohjan tapauksessa ei suositella käytettävän tiiviitä pintamateriaaleja. [35, s.52–53.]

#### 6.3.4 Ryömintätilainen alapohja

Ryömintätilaisen alapohjan kosteustekninen toimivuus varmistetaan estämällä sade- ja sulamisvesien kulkeutuminen alapohjatilaan, estämällä maaperästä tuleva kosteuden nousu, tuulettamalla hyvin alapohjatilaa, lämmöneristämällä tarvittaessa alapohjan maa, lämmittämällä tarvittaessa alapohjatila sekä kuivaamalla alapohjatila tarvittaessa koneellisesti. Ryömintätilan vähimmäiskorkeus tulee olla vähintään 0,8 metriä, mutta huoltamisen kannalta suositellaan vähintään 1,2 metrin korkeutta. Ryömintätilan korkeus voi olla esimerkiksi alapohjapalkkien kohdalla matalampi, mutta tällöinkin tulee huomioida alapohjan tuulettavuus ja huollettavuus. Ryömintätilaan ei saa jäädä mitään orgaanista ainetta tai rakennusjätettä. Ryömintätilassa ilmaa vasten olevien rakenteiden tulee kestää hyvin kosteutta ja ryömintätilan olosuhteet esimerkiksi betonilla vaikuttavat sen rasitusluokkaan ja sitä kautta mm. raudoitusten betonipeite paksuuteen. Koska oikein suunnitellussakin ryömintätilassa on kesäaikana olosuhteet, jossa homeella on mahdollisuus kasvaa, tiivistetään ryömintätila sisätiloihin päin. [35, s.57.] Ryömintätilan suunnittelussa tulee huomioida myös palomääräykset.

Sade- ja sulamisvesien kulkeutuminen ryömintätilaan estetään salaojituksella, sadevesijärjestelmällä sekä pintamaan muotoilulla rakennuksesta pois päin. Rakennuksen alapuolisella salaojituskerroksella katkaistaan maaperästä alapohjaan nouseva kosteus. Luvun 6.3.2 mukaan tehdään myös ryömintätilaisen alapohjan salaojitus. Ryömintätilan maapohjassa ei saa olla monttuja, jotka mahdollistaisivat sadeveden lammikoitumisen.

Hyvän ryömintätilan tuuletuksen tavoitteena on poistaa alapohjasta kosteutta sekä epäpuhtauksia. Ryömintätila tulee olla tuuletettuna ympärivuotisesti ja sen pitää pystyä tuulettumaan koko ryömintätilan alueelta. Tuuletuksella suunnitellaan tapauskohtaisesti, mutta tavoitteena ilman vaihtumiselle pidetään 0,5-1 ilman vaihtumista tunnissa. Tuuletuksien pinta-alan ohjeellinen arvo on tuulelle alttiissa paikassa 0,5 ‰ alapohjan alasta ja tavanomaisella rakennuspaikalla 1,0 ‰ alapohjan alasta. Ohjeelliset arvot ovat suorille sokkelista läpi meneville putkille. Tuuletuksien alareunan tulee olla vähintään 0,15 metriä maanpinnan yläpuolella. Tuuletuksien tehollinen koko on 150 cm<sup>2</sup> ja tuuletuksien etäisyys toisistaan saa olla enintään 6 metriä. Alapohjan si-

säisten tuuletusaukkojen tulee olla kaksinkertaisia ulkoseinään tuleviin tuuletusaukkoihin nähden. Ryömintätilaisen alapohjan tuuletus ja kuivatus voidaan hoitaa myös koneellisesti, jolloin se vaatii tapauskohtaista LVI-suunnittelua. [35, s.59]

Kun ryömintätila tuuletetaan kesäaikana ulkoilmalla, voi ulkoilman suhteellinen kosteus olla 60-80%:a ja aiheuttaa viileämmän ryömintätilan ilman suhteellisen kosteuden nousumisen 80-100%:iin. Viileisiin ryömintätilan rakenteisiin voi tällöin kondensoitua vettä. Ryömintätilan suhteellista kosteutta pyritäänkin laskemaan nostamalla sen lämpötilaa joko lämmittämällä tai lämmöneristämällä ryömintätilan maa. Ryömintätilan maassa voidaan käyttää esimerkiksi 300mm paksua kevytsorakerrosta tai 50-100 mm paksua solumuovieristettä. Kevytsoran käyttö on suositeltavaa, sillä se lämmöneristämisen lisäksi kapillaarikatkona ja se tasaa alapohjan kosteusvaihteluita hyvän kosteudensitomiskapasiteettinsa ansiosta. [35, s.59] Kun käytetään solumuovieristettä ryömintätilan maapohjassa lämmöneristeenä, tarvitaan sen alle 0,2 m paksu salaojituskerros. RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1 kirjassa on myös käsitelty ryömintätalillisen alapohjan olosuhteita sivulta s.155 alkaen.

#### 6.3.5 Kellarin seinä ja sokkeli

Seinärakenne, joka tehdään maata vasten, tulee olla kivirakenteiden [37, s.292]. Sokkelin kosteustekninen toiminta varmistetaan salaojituksella, maan pinnan kallistuksella rakennuksesta poispäin sekä suunnitellaan sokkelin ja lattian yläpinta vähintään 0,3 metriä viereisen maanpinnan yläpuolelle. Jos maanvastaisen alapohjan lattiapintaa ja sokkelin yläpintaa ei saada 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolista maanpintaa ylemmäksi, lukuun ottamatta kellarillista ratkaisua, tulee sokkeli suojata ulkopuoliselta kosteudelta, ohjata pintavedet pois rakennuksen viereltä ja salaojituksella. Kosteuden siirtyminen sokkeliin voidaan estää käyttämällä esimerkiksi yhtenäistä kumibitumimattvedeneristystä. Vedeneristys nostetaan sokkelin yläpintaan asti ja vedeneriste suojataan maan alla perusmuurilevyllä tai EPS:llä ja maanpinnan yläpuolella esimerkiksi pellityksellä. Vedeneristyksen yläreuna tulee kiinnittää yläreunasta mekaanisesti. Tällaisessa tapauksessa tulee sokkelin liittymä suunnitella tarkasti, jotta ei tule tilannetta, että vesi pääsisi esimerkiksi ulkoseinän tuuletusvälistä valumaan sokkelin vedeneristyksen taakse umpinaiseen tilaan aiheuttamaan routavaurioita tai muuta kosteusvauriota. Kun rakennuksen ulkopuolisen maanpinnan ja rakennuksen lattiapinnan ero on vähintään 0,3 metriä ja rakenteellinen vedenpoisto on varmistettu, sokkelin ulkopintaa ei tarvitse vedeneristää. [35, s.54.] Elementtisokkelien väliset saumat tulee tiivistää, jotta ulkopuo-

linen kosteus ei pääse saumasta alapohjarakenteisiin. Sokkelielementin ulkokuorien väliseen saumaan laitetaan maan alle umpisoluinen saumanauha + 300mm leveä kumibitumikermikaista ja maan päälle umpisoluinen saumanauha ja elastinen kittaus.

Kellarin seinää ei saa tehdä siten, että se ei pääse kuivamaan sisäpuolelle. Hyvästä ilmanvaihdosta kellaritiloissa tulee myös huolehtia. Jotta maan kosteus sekä pinta- ja sulamisvesien tunkeutuminen seinärakenteeseen saataisiin estettyä, käytetään kellarin ulkoseinän ulkopinnassa lämmöneristyksen alla vedeneristystä tai tarvittaessa vedenpaine-eristystä. Vedenpaineille alttiit rakenteet suojataan jatkuvilla vedeneristeillä. Jos seinään vaikuttaa vedenpaine, suositellaan se varustettavan hallittuun vuotoon ja vuotoveden poistamiseen tarkoitetulla järjestelmällä. Perusmuurilevyä (ei jatkuvaa vedeneristystä) voidaan käyttää normaaleissa olosuhteissa maksimissaan yhden kerroksen korkuisissa seinissä, kun varmistetaan vierustäytön ja rakennuspohjan kuivatus. Perusmuurilevyn yläpintaan tulee laittaa lista, jolla estetään sadeveden pääsemisen perusmuurilevyn ja kellarin seinän sisään. Seinän alaosaan tehdään esimerkiksi laastilla viiste ja sen päälle liimataan kumibitumikermi. Kumibitumikermi nostetaan seinälle 300 mm ja se vietään anturan ylitse anturan kylkeen 100 mm. Tällä tavalla kellarin seinää pitkin valuvat veden ohjautuvat pois anturan päältä salaojaan. Jatkuvien vedeneristeiden käytössä tulee kiinnittää huomiota vedeneristeen alustaan. Vedeneriste tulee kiinnittyä seinään luotettavasti. Vedeneriste tulee myös suojata ulkoiselta rasitukselta esim. EPS- tai perusmuurilevyllä. Kellarin seinässä suositellaan käytettävän lämmöneristettä vedeneristeen päällä, jolloin saadaan nostettua kellarin seinän kantavan rakenteen lämpötilaa ja laskettua kosteuspitoisuutta. Kellarin seinän näkyvä osa suositellaan vedeneristettävän 300 mm maanpinnan yläpuolelle. Näkyvällä osalla voidaan käyttää esimerkiksi vedeneristyslaastia. Anturan ja kellarinseinän välissä suositellaan käytettävän veden kapillaarista nousua estävää kerrosta. Kellarin seinän päälle tulevat puu- ja tiilirakenteet erotetaan kiviaineksesta myös kapillaarikatkolla. Veden kapillaarinen nousu saadaan estettyä esimerkiksi bitumisivelyllä, kumibitumikermillä, epoksilla tai vedeneristyslaastilla. [35, s.54–56.]

RIL:n kirjallisuuden lisäksi RT 83–10955 -ohjekortissa Perustusten ja perusmuurien vedeneristys on käsitelty pohjavedenpinnan yläpuolisten rakenteiden kosteuden- ja vedeneristystä.

### 6.3.6 Vedenpaine-eristys

Vedenpaineen vaikutuksessa olevien rakenteiden tulee estää paineellisen veden tunkeutuminen rakenteen läpi koko sen suunnitellun käyttöajan. Jos rakenne ei itsessään ole vedenpitävä eli tehty esimerkiksi vesitiiviistä betonista, tulee käyttää riittävää vedeneristystä. Mitoittava vedenpaine katsotaan oletetun korkeimman vedenpinnan esiintymisen mukaan. Pohjavedestä rakenteisiin aiheutuvaa rasitusta on käsitelty luvussa 3.3.2. Vedenpaineen eristys tulee ulottaa pystypinnoilla 0,3 metriä oletettua pohjavedenpinnan korkeutta ylemmäs. Pohjaveden rasittamat maanalaiset seinärakenteet tulisi tehdä mahdollisuuksien mukaan siten, että mahdollinen vuoto saataisiin helposti hallittua, esim. kaksoisrakenteella. Lähtökohtaisesti kaikki läpiviennit tulisi sijoittaa pohjavedenpinnan ja vedenpaine-eristyksen yläpuolelle, mutta jos se ei ole mahdollista, tulee käyttää tähän tarkoitukseen soveltuvia läpivientikappaleita, kuten Roxtec:n tuotteet. Vedenpaineessa olevat rakenteet tulisi tehdä ilman liikuntasauvoja, mutta koska se ei ole aina mahdollista, tulee käyttää tähän tarkoitukseen tarkoitettuja valmiita liikuntasauomalaitteita. Vedenpaineen eristys voidaan toteuttaa kumibitumikermillä, mas- saeristeellä, bentoniittieristeellä tai suunnittelemalla vesitiivis betonirakenne. Vedenpaine-eristys tulee aina suojata.

Kumibitumikermeillä toteutetun vedenpaine-eristyksen alustaksi soveltuu hyvin betoni- rakenne, sillä vesitiiviytensä vuoksi se estää vedenpaine-eristyksen vuotaessa veden tunkeutumisen suoraan rakenteen läpi. Betonialustalta vaaditaan  $1 \text{ N/mm}^2$  vetolujuutta vedeneristyksen tartuntaa varten eli alustan tulee olla hyvin tartuntakelpoinen. Aina ennen vedenpaine-eristyksen asentamista tehdään alustaan tartuntakäsittely, kuten harjaamalla tai telaamalla betonin huokosiin helposti tunkeutuvaa kumibitumiliuosta  $0,3\text{-}0,5 \text{ l/m}^2$ . Ennen kuin itse vedenpaineen eristys voidaan asentaa, tulee pinnan olla kuiva. Taulukossa 3 on esitetty tarvittava vedenpaineeneristys kumibitumikermejä käytettäessä. Taulukon mukaan voidaan valita tarvittava kermien määrä ja luokka. Kermien sivujen limitys tulee olla yleensä vähintään 100 mm ja päätysaumoissa kermit limitetään 150 mm. [35, s.62–63.]

Taulukko 3. Tarvittava kumibitumikermien määrä ja luokka mitoittavassa vedenpaineessa. [35, s.63]

Vedenpaine	Tuoteluokkayhdistelmä TL 2 ja TL 1 kermeillä
0–1 m	TL 2 + TL 2 esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 2 x bitumikermi
1–5 m	TL 2 + TL 2 + TL 2 (tai TL 1) esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 3 x bitumikermi
5–10 m	TL 2 + TL 2 + TL 2 + TL 2 (tai TL 1) esim. kylmäbitumisively KBL 20/100 + (kuumabitumisively tarvittaessa) + 4 x bitumikermi

Kun puhutaan bentoniitistä, tarkoitetaan pehmeää ja helposti muokkautuvaa erikoisainetta, joka absorboi tarvittaessa suuren määrän vettä ja laajenee hyvissä olosuhteissa jopa kymmenkertaiseksi. Alusrakenteen kanssa bentoniitti muodostaa vedenpainetta kestävä kerroksen. Bentoniittieristys laitetaan kahden rakenteen väliin, jotka pystyvät ottamaan bentoniitin turpoamisvoimat. Kun bentoniitti kastuu, se laajenee voimakkaasti ja muodostaa myös esimerkiksi bentoniittimattojen saumojen kohdalta tiiviin yhtenäisen pinnan. Bentoniittimatto koostuu yleensä kahdesta polypropeenikuitukankaasta ja niiden välisestä bentoniitistä. Bentoniittimaton savi paisuu kosteudessa ja tiivistää myös pienet halkeamat. Erityisen vaativiin kohtiin käytetään bentoniittimaton kanssa bitumikermieristystä. Paisuvaa saumanauhaa ja/tai injektointiletkaa voidaan käyttää rakenteiden sisässä työsaumoissa, läpivienneissä sekä seinien ja lattialaattojen yhtymäkohdissa. [35, s.63–64.].

RIL 107–2012 lisäksi vedenpaineen eristystä on käsitelty mm. RT83-11032 -ohjekortissa Vedenpaineeneristys.

#### 6.4 Radon ja alapohjan tiiveys

Suunniteltaessa uutta asuinrakennusta tulee radon ottaa aina huomioon. Ensimmäisenä tulee selvittää, onko maaperä otollista radonille ja jos ei ole, täytyy myös huomioida mahdolliset alapohjan täyttökerrokset, voisiko niistä syntyä radonia. Radon on näkymätön ja hajuton jalokaasu. On tutkittu, että pitkäaikainen asuminen korkeassa radonpitoisuudessa aiheuttaa merkittävän riskin sairastua keuhkosyöpään. [45.] Radonin kulkeutuminen huoneilmaan on helppoa ja halvinta estää juuri uuden rakennuksen tekovai-

heessa. Täytyy huomioida, että radonin vuoksi tehdyt suunnitteluratkaisut eivät mene hukkaan, vaikka itse radonia ei juuri esiintyisi maaperässä. Hyvällä alapohjan tiiveydellä estetään myös muiden epäpuhtauksien kulkeutuminen huonetilaan ja alapohjan tuuletusputkistolla voidaan vähentää mm. rakennuspohjassa olevaa kosteutta. Tämän vuoksi on tärkeää esittää ilmatiiveysdetaljit tarkasti suunnitelmissa, vaikka radon ei olisi ongelma. Radon kulkeutuu huoneilmaan suurimmaksi osaksi maaperästä, jossa radonia kehitty, kun uraani hajoaa radioaktiivisesti. [44.] Radonin määrään sisäilmassa vaikuttavat myös rakennuksen alla ja ympärillä oleva täytemaa, kallioperä, talousvesi, rakennusmateriaalit ja ilmanvaihto. Uudisrakentamisen radonpitoisuuden tavoitearvo on uudisrakentamisessa alle 200 Bq/m<sup>3</sup> [45]. Rakennesuunnitelmissa esitetään ratkaisut alapohjan tiiveyteen sekä tarvittaessa tuuletusjärjestelmän sijoitus alapohjaan. Radonia esiintyy Suomessa erityisesti hyvin ilmaa läpäisevissä sora- ja hiekkaharjuilla. Tiiviimmät pohjamaat taas estävät tai hidastavat radonin nousua. Ehjästä kalliopinnasta huokuu vähemmän radonia, mutta koska kalliopinnassa on halkeamia, saattaa radonia nousta syvältä maaperästä. Myös louhinnat hajottavat kalliopinnan, jolloin rikottu kalliopinta voi olla todella suuri radonin lähde.

Rakennus täytyy lähtökohtaisesti suunnitella ja rakentaa olosuhteiden mukaan siten, että mitään hallitsemattomia liikkeitä ei pääse tapahtumaan esimerkiksi painumisesta tai routimisesta. Hallitsemattomat rakennuksen tai rakenneosien liikkeet huonontavat monen muun asian lisäksi myös alapohjan tiiveyttä. Tarvittaessa liikuntasaumoilla pystytään hallitusti huomioimaan eri rakennusosien ja materiaalien mahdolliset kutistumat ja lämpöliikkeet. Kun rakenteiden liikkeitä ohjataan hallitusti tietyille sijainneille, pystytään nämä kohdat suunnittelemaan ja rakentamaan tiiviiksi ja liikkeitä salliviksi.

#### 6.4.1 Rakenteiden tiiveyden huomioiminen eri perustamistavoissa

Eri perustamistavoilla voidaan vaikuttaa tiivistämiskohtien määrään sekä radonin torjunnassa tarvittavien toimenpiteiden määrään. Mahdolliset raot alapohjassa ja alipaineinen huonetila tuovat radonpitoista ilmaa sisätilaan. Jos maaperän huokosilmassa tiedetään olevan paljon radonia, kannattaa miettiä tuulettuvan alapohjan ratkaisuja. Maanvaraisissa rakenneratkaisuissa esiintyy enemmän radonpitoisuuksien ylityksiä. [45]. Maanvaraisessa sekä tuulettuvassa alapohjaratkaisussa täytyy joka tapauksessa suunnitella ja rakentaa alapohja tiiviiksi läpivientien ja alapohjarakenteiden liittymien kohdilta. Tuulettuvan alapohjan tuuletus pitää myös suunnitella toimivaksi. Maanvastaisen alapohjan tuuletus imukanavistolla on hyvin suositeltavaa ja rakennusvaiheessa

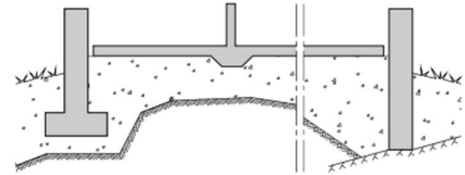
kaiken lisäksi pieni kustannus, kun vertaa sen tuottamaan hyötyyn. Kuvassa 38 on esitetty radoniin ja samalla myös alapohjan tiiveyteen liittyviä haasteita, jotka kannattaa huomioida, kun miettii rakennuksen perustamistapaa. Mitä vähemmän pysty- ja vaakarakenteiden liittymiä, sitä vähemmän tiivistämiseen liittyviä haasteita.

#### Perusmuuri ja maanvarainen alapohja

- kantavien väliseinien ym. perustaminen laattavahvistusten varaan vähentää tiivistettävien liittymien määrää

#### Kiinnitettävä erityistä huomiota

- maanvaraisen laatan ja lävistävien rakennusosien liittymien tiivistämiseen
- perusmuurin ja alapohjan liitoskohdan tiivistämiseen
- läpivientien tiivistämiseen
- monimuotoisissa rakennuspohjissa lattialaatan halkeamiin

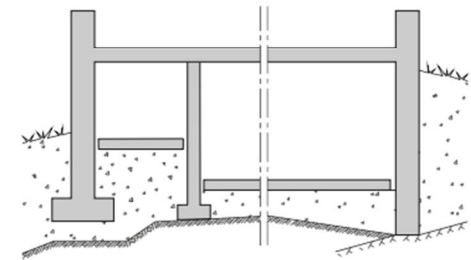


#### Perusmuuri ja maanvarainen alapohja, rinne- ja kellaritalot

- maanvarainen laatta on usein kantavien väliseinien jakama

#### Kiinnitettävä erityistä huomiota

- kellarin seinien tiivistämiseen
- perusmuurin ja sen liitosten tiivistäminen porrastusten kohdilla
- perusmuurin ja alapohjan liitoskohdan tiivistämiseen
- läpivientien tiivistämiseen
- monimuotoisissa rakennuspohjissa lattialaatan halkeamiin

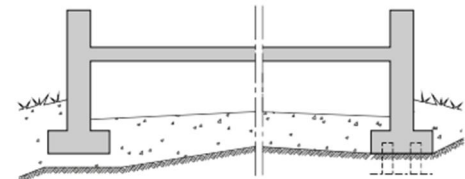


#### Perusmuuri ja kantava alapohja, ryömintätila

- tuulettuva ryömintätila vähentää rakennuspohjan ilmavirtausten radonpitoisuutta eikä rakennuspohjan tuuletusjärjestelmää tarvita

#### Kiinnitettävä erityistä huomiota

- alapohjarakenteen ja sen liitoskohtien tiivistämiseen
- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen

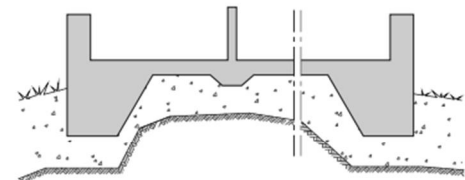


#### Reunavahvistettu laattaperustus

- yhtenäinen paksu, hyvin raudoitettu lattialaatta
- kantavien väliseinien ym. perustaminen laattavahvistusten varaan vähentää tiivistettävien liittymien määrää
- ei rakennusosien välisiä saumoja

#### Kiinnitettävä erityistä huomiota

- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen

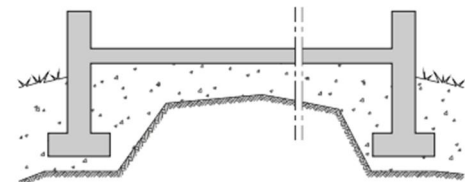


#### Perusmuuri ja kantava alapohja, maata vasten valettu

- yhtenäinen paksu, hyvin raudoitettu lattialaatta
- ei rakennusosien välisiä saumoja

#### Kiinnitettävä erityistä huomiota

- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen
- alapohjan täyttökerrosten pienikin painuminen mahdollistaa sivuttain tapahtuvat ilmavirtaukset, mikä lisää rakenteiden tiivyydelle asetettuja vaatimuksia



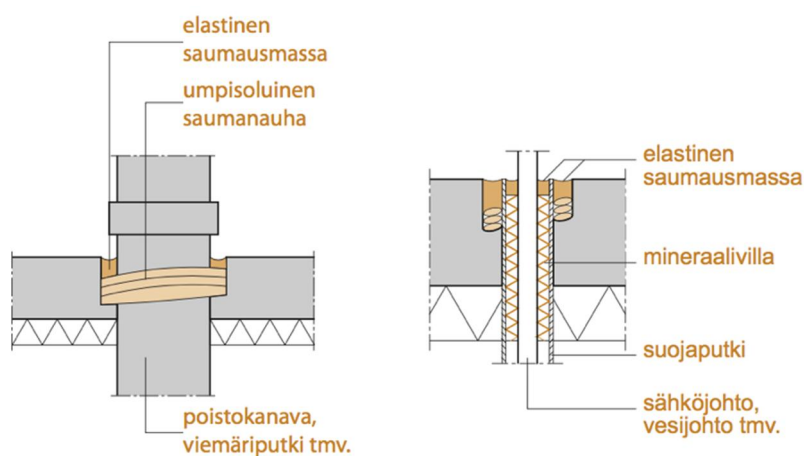
Kuva 38. Kuvassa on näytetty erilaisia perustamistapoja ja radoniin liittyviä huomioita [45, Kuva 2].





Harkkorakenteisten perusmuurien ja -kellarin seinien alapohjaliittymädetaljeja on esitetty RT- kortissa 81–11099. Mahdolliset tate-läpiviennit kermin läpi voidaan tiivistää jälkikäteen kylmä- tai kuumabitumilla.

Tate-tekniikka putkien läpiviennit alapohjassa sekä tarkistusluukkujen liittymät ovat yksi ilman ja radonin reitti sisäilmaan. Läpivientien kohdista tulee tehdä suunnitelmat, joilla varmistetaan, että läpiviennit saadaan työmaalla tiiviiksi. Suunnitelmissa voidaan esittää, että yksittäisissä läpivienneissä käytetään siihen tarkoitettuja valmiita läpivientitiivisteitä tai että ne tehdään kuvan 40 mukaisesti.



Kuva 40. Läpivientien tiivistysdetaljeja [45, kuva 16.17]

Ajatus kuvassa on, että yksittäisen tate-läpiviennin ympäri kiedotaan ennen valua umpisoluista saumanauhaa ja valun jälkeen ylin kieppi poistetaan ja täytetään elastisella saumausmassalla. Suojaputkessa menevän putken liitos täytyy jo suunnitteluvaiheessa esittää detaljilla, jossa näytetään sekä suojaputken tiivistys kantavaan rakenteeseen, että suojaputken ja putken välinen tiivistys. Kyseiset kohdat tulee käydä työmaalla tarkasti läpi, jotta ei jätetä turhaan yksittäisiä ja mahdollisesti myöhemmin vaikeasti tiivistettäviä kohtia alapohjaan. Usean läpiviennin kohdat voidaan toteuttaa siten, että suunnitelmiin merkitään suurempi reikä putkinippujen kohdalle. Putket irrotetaan hieman toisistaan ja tuetaan, jotta jälkivalu saadaan putkien ympärille. Jälkivalu jätetään noin 1cm valmista betonilaatan pintaa alemmas ja varaus tiivistetään elastisella saumausmassalla. [45.] Suojaputkelliset läpiviennit tiivistetään myös sisältä kuvan 40 mukaan. Jos läpiviennit tarvitsee tehdä vesitiiviiksi, kannattaa käyttää siihen tarkoitettuja valmiita tyyppihyväksytyjä läpivientikappaleita ja merkitä ne suunnitelmiin. Läpivientikappaleiden asennus tulee tällöin toimittajan mukaan.

Betonista tehdyt rakenteet ovat itsessään tiiviitä estämään radonin tunkeutumisen sisätiloihin. Maanvaraisen laatan paksuudeksi suositellaan kuitenkin vähintään 80mm. Betonirakenteet täytyy kuitenkin suunnitella ja tehdä siten, että halkeilua ei pääsisi syntymään. Suunnittelussa huomioidaan betoniin syntyvät sisäiset pakkovoimat, ulkoiset kuormitukset ja ympäristöolosuhteet. Määritetään tarvittava betonin lujuus ja mitoitetaan ja sijoitetaan raudoitus siten, että betonin halkeilu sen vetolujuuden ylittyessä olisi mahdollisimman pientä. Betonirakenteissa valunjälkeisten päivien jälkihoidon merkitys on todella suuri. Suunnitteluvalinnoilla ja työmaan käytännön teoilla pystytään vaikuttamaan betonin halkeiluun. Halkeilun rajoittamiseksi voidaan toteuttaa seuraavia toimenpiteitä: betonivalun varhaisen vaiheen lämpötilojen rajoittamista, betonin lämmönkehityksen ja kutistumispyrkimyksen pienentämistä hyvillä suhteutus valinnoilla, estetyt kutistuman olosuhteiden vähentämistä suunnitteluratkaisuilla, parantamalla betonin vetolujuutta kutistumisen tapahtumahetkellä, pienentämällä kutistumasta syntyvää vetojännitystä, lykkäämällä kutistumisen aloitusajankohtaa siihen saakka kunnes betoni on riittävän lujaa vastaanottamaan rasituksia tai ohjata kutistumishalkeamia haluttuihin paikkoihin. [46.]

#### 6.4.3 Radonin poistaminen alapohjasta tuuletusjärjestelmän avulla

Maanvaraisen alapohjan tuuletusjärjestelmän avulla poistetaan laatan alapuolisen kapillaarikerroksen huokosilmasta radonia ja samalla alipaineistetaan alapohja siten, ettei ilma liikkuisi kohti huoneilmaa. Tuuletusjärjestelmän etuna on myös kosteuden poistaminen alapohjarakenteesta. Alapohjan ilmatiiveyden merkitys on suuri tuuletusjärjestelmästä huolimatta. Tuuletusjärjestelmän imukanavisto asennetaan alapohjassa kapillaarisorakerrokseen. Imukanavistosta radonpitoinen ilma viedään siirtoputken ja poistoputken avulla vesikatton yläpuolelle ulkoilmaan. Vesikatolla voidaan käyttää poistoputken päässä hattua tai tarvittaessa poistopuhallinta, jolla tarvittaessa tehostetaan radonpitoisen ilman siirtymistä alapohjasta ulkoilmaan.

Jos rakennuskohteessa on sovittu rakennesuunnittelijan tekemän radonsuunnitelman, tulee radonputkisto näyttää perustussuunnitelmissa, jotta siitä saatavat hyödyt maksimoituvat ja sen tarkoitus toteutuu oikein. Tasokuvassa tulee näyttää ohjeelliset sijainnit ja materiaali- ja toteutusohjeet. Rakenneleikkauksissa näytetään imukanaviston asemointi alapohjan rakenteeseen. Poistoputki tulee sijoittaa paikkaan, jossa se on helppo ja rakenteellisesti turvallinen viedä ala- ja yläpohjarakenteiden läpi. Tuuletusjär-

jestelmän kanaviston mitoituksesta ja sijoituksesta löytyy tarkat suunnitteluohjeet RT-kortista 81–11099 [45].

## 7 Tulokset

Onnistuneen rakennuksen taustalla on ammattitaitoinen ja vastuullinen suunnittelu sekä rakentaminen. Onnistunut rakennus on vakaa ja rakenteiltaan kestävä, paloturvallinen, terveellinen, käyttöturvallinen, energiatehokas, soveltuva käyttäjän tarpeisiin, ympäristöön sopiva ja esteettisesti korkeatasoinen, rakennettu työturvallisuus huomioiden, rakennettu laadukkaista rakennusmateriaaleista ja sen rakentamisessa edistetään kestävä kehitystä. Rakennuksen pohjarakenteiden suunnittelun rakenteelliset ratkaisut muodostuvat pohjatutkimuksen perusteella ja siitä geosuunnittelijan tekemien mitoitusten pohjalta sekä rakennuksen mittasuhteiden, sijainnin ja erityispiirteiden mukaan.

Alapohjarakenteiden rakennesuunnittelu vaatii eurokoodin ja niiden kansallisten liitteiden tuntemista, sillä eurokoodit ohjaavat rakenteiden suunnittelua. Rakennesuunnittelijan tulee tuntea maankäyttö ja rakentamislaki, sillä siinä on säädetty alueiden ja rakennusten suunnittelu, rakentaminen ja käyttö. Rakennesuunnittelijan täytyy tietää rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö sekä ymmärtää rakennusmateriaalien lujuudesta ja rakennusfysikaalisista ominaisuuksista. Alapohjarakenteiden suunnittelu vaatii maapohjan ominaisuuksien ja perustusrakenteiden rakenteellisen toiminnan sekä näiden kahden yhteistoiminnan ymmärtämistä, jotta pohjarakenteet voidaan toteuttaa koko niiden suunnitellun käyttöiän ajaksi riittävän lujiksi ja vakaiksi murtumista vastaan. Jotta rakennuksesta saadaan terveellinen ja energiatehokas, tulee rakennesuunnittelijan ymmärtää ja tietää rakennusfysiikan perusilmiöt.

Alapohjarakenteiden rakennesuunnittelun tuloksena syntyvät lujuuslaskelmat sekä rakennepiirustukset. Lujuuslaskelmilla osoitetaan kantavien rakenteiden, kuten esimerkiksi perustusten tai alapohjapalkkien kestävyys. Rakennepiirustukset sisältävät rakennetyypit, tasokuvat, leikkaukset ja detaljit. Rakennesuunnittelija laatii lisäksi rakennejärjestelmäselostuksen sekä tarvittavat työselostukset mm. perustuksista, paikalla valuista ja elementeistä. Rakennesuunnittelijan tulee huolehtia myös työturvallisuuden suunnittelusta rakenteelliselta kannalta.

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada kasattua alapohjarakenteisiin liittyvät rakennesuunnittelijaa koskevat rakenneasiat mahdollisimman tiiviiksi tietopaketti ja tuoda esille suunnittelua helpottavia lähteitä. Alapohjarakenteisiin liittyvää kirjallisuutta läpi käydessäni otin talteen kirjallisuudesta löytyneitä hyviä suunnittelua auttavia ja nopeutavia taulukoita ja ohjeita, jotka tulevat myös yritykseni muiden suunnittelijoiden käyttöön. Opinnäytetyön on tarkoitus auttaa nuorempia rakennesuunnittelijoita tiedon etsinnässä sekä eri rakenneasioiden ymmärtämisessä.

Opinnäytetyöhön toi haastetta sen laajuus ja suuri tietomäärä. Koen kuitenkin onnistuneeni opinnäytetyön tavoitteissa, sillä uskon löytäneeni suuresta tietomäärästä olennaiset asiat ja tärkeimmät lähteet, joiden avulla rakennesuunnittelija pystyy etenemään eri rakenteiden suunnittelussa. Opinnäytetyö ei kuitenkaan korvaa kokemusta rakennesuunnittelusta, sillä se on pelkästään kirjallisuuden varassa. On tärkeää, että vanhemmat rakennesuunnittelijat opastavat ja tuovat esille omia kokemuksiaan toteutetuista rakenneratkaisuista ja niihin liittyvistä haasteista. On myös paljon helpompaa ja nopeampaa tehdä rakennesuunnitelmaa, kun on käytössä samasta suunnittelutehtävästä oleva mallikuva. Tällöin on kuitenkin tärkeää pitää mielessä, että mitään asiaa ei kopioida edellisestä suunnitelmasta ymmärtämättä sen tarkoitusta. Jokaisella viivalla pitää olla peruste.

Opinnäytetyö laajensi myös omaa tietotaitoani geotekniikan osalta, tutustutti uudistuneeseen Suomen rakentamismääräyskokoelmaan sekä mahdollisti tutustumisen ennestään itselle tuntemattomiin kirjoihin, kuten Helenelundin pohjarakentamisen oppikirjaan. Kirja vahvisti omaa kokemusta siitä, että monet asiat on joskus saatu kerrottua yksinkertaisemmin ja niitä on ollut helpompi lähestyä.

## Lähteet

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lujuus ja vakaus, Pohjarakenteiden suunnittelu 2018
- 2 Eurokoodi help desk, <http://www.eurocodes.fi>
- 3 Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista YM1/601/2015, Ympäristöministeriön kotisivut: [http://www.ym.fi/download/YM\\_ohje\\_rakentamisen\\_suunnittelutehtavien\\_vaativuusluokista/324f1ce5-d4cc-4ee3-9199-eea1e12af427/107762](http://www.ym.fi/download/YM_ohje_rakentamisen_suunnittelutehtavien_vaativuusluokista/324f1ce5-d4cc-4ee3-9199-eea1e12af427/107762), luettu 2.1.2018
- 4 Ympäristöministeriön ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta YM2/601/2015, Ympäristöministeriön kotisivut: [http://www.ym.fi/download/Ymparistoministerion\\_ohje\\_rakennusten\\_suunnittelijoiden\\_kelpoisuudesta/ed413935-bbd6-425c-827e-ab5ae5ceecb9/109804](http://www.ym.fi/download/Ymparistoministerion_ohje_rakennusten_suunnittelijoiden_kelpoisuudesta/ed413935-bbd6-425c-827e-ab5ae5ceecb9/109804), luettu 2.1.2018
- 5 <http://www.henhelpdesk.fi>
- 6 Frimodig Saara, Tontin pohjarakennuskustannusten laskenta kaavoitusvaiheen suunnittelussa 2014, Diplomityö
- 7 Antti Laitakari DI, Teräsbetonipaalujen ja RR-paalujen hintavertailu: <http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/Paaluseminaari-2011-kustannusvertailu-2.pdf>, luettu 6.1.2018
- 8 Eero Slunga emeritusprofessori, Pohjarakenteiden suunnittelu, artikkeli Rakentajain kalenteri 2000
- 9 RIL 121-2004, Pohjarakennusohjeet
- 10 Jääskeläinen Raimo, Geotekniikan perusteet, 2009
- 11 Geologian tutkimuskeskuksen kotisivut, Maaperäkartan käyttöopas (PDF), [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/tietopalvelut/kartat/GTK\\_maaperakartan\\_kayttoopas.pdf](http://www.gtk.fi/export/sites/fi/tietopalvelut/kartat/GTK_maaperakartan_kayttoopas.pdf), luettu 25.1.2018
- 12 RIL 157-1 Geomekaniikan perusteet, 1985
- 13 RIL 261-2013 Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet
- 14 Tielaitos, Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa, Helsinki 1999, Liikenneviraston kotisivut: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/julkaisut/prakos99.pdf>, luettu 24.1.2018
- 15 RIL 166, Pohjarakennusohjeet, 1986
- 16 SFS-EN 1997-1 opastava liite D, Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu, 2014
- 17 RIL 207-2009 Geotekninen suunnittelu

- 18 SGY 201 (Suomen Geoteknillinen yhdistys), pohjatutkimusmerkinnät kartoilla, piirustusohjeet, 2007
- 19 RIL 229-1-2013 Rakennesuunnittelun asiakirjaohje
- 20 Unto Kalamies DI, Hitsausmerkinnät rakentamisessa, artikkeli Rakentajain kalenteri 2003, rakennustieto.fi nettisivu: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030301.pdf>, luettu 18.3.2018
- 21 BY 65 Betoninormit 2016
- 22 Jouni Punkki tekn.tri professori, betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu, artikkeli, betoni.com nettisivu: [https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702\\_66-71.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_66-71.pdf), luettu 23.4.2018
- 23 SFS-EN 1991-1-1, Betonirakenteiden suunnittelu, 2015
- 24 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lujuus ja vakaus, Betonirakenteet 2016
- 25 BY 211, Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2, 2014
- 26 Jääskeläinen Raimo, Pohjarakennuksen perusteet, 2009
- 27 RIL 254-2016 Paalutusohje 2016 (PO-2016)
- 28 Martti Rantamäen ja Markku Tamminen, Pohjarakennus 1979
- 29 Pålkommissionen, Per-Ola Svahn ja Claes Alen, rapport 101; Transversalbelastade pÅlar – statistiskt verkningssätt och dimensioneringsanvisningar 2006. Rapportii löytyy Pålkommissionen nettisivuilta: <http://www.palkommissionen.org/web/page.aspx?refid=35>, luettu 10.5.2018
- 30 Betonilattia kortisto BLY-14 2012, julkaisijat: Rakennusteollisuus RTT ry, Betonteollisuus ry ja Betonilattiyhdistyksen ry, löytyy nettisivuilta: <http://www.bly.fi/File/BLY-14.pdf?rnd=1356602833>, luettu 13.5.2018
- 31 Betonilattiat 2014, Suomen betoniyhdistys BY 45, Suomen betonilattiyhdistys BLY 7
- 32 Suomen betonilattiyhdistys ry, BLY – Ohje 3 /2018, löytyy nettisivuilta: <http://www.bly.fi/fi/Julkaisut.html>, luettu 13.5.2018
- 33 Anneli Dahlgren, Louise Svensson, Guidelines and Rules for Detailing of Reinforcement in Concrete Structure 2013, s. 154-158.
- 34 Helenelund, K.V., Pohjarakennus 143, 1962
- 35 RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset
- 36 Ympäristöministeriö, Tasauslaskentaopas 2018; Rakennusten lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen, löytyy nettisivulta: <http://www.ym.fi/fi/>



[FI/Maankaytto ja rakentaminen/Lainsaadanto ja ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus](#), luettu 6.6.2018

- 37 Rakentajan kalenteri 2017, Rakennustieto; professori Juha Vinha artikkeli; "Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja toteutuksen periaatteet"
- 38 TRY Teräsrakenneyhdistys, Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa – Korroosion kestävyys, 2015, löytyy nettisivuilta:  
[http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras\\_kosketuksissa\\_muiden\\_materiaalien\\_kanssa\\_1703\\_2015.pdf](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras_kosketuksissa_muiden_materiaalien_kanssa_1703_2015.pdf), luettu 12.6.2018
- 39 Puuinfo, Hyvä tietää kestopuusta, 2010, löytyy nettisivuilta:  
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tee-se-itse/ohjeita-omatoimirakentajille/hyva-tietaa-kestopuusta/hyva-tietaa-kestopuusta-web.pdf>, luettu 12.6.2018
- 40 Unto Siikanen, Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia 2014
- 41 Virpi Lievo, Jukka Rantala, Maanvastaiset alapohjarakenteet – Kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen, julkaisu 121, 2002
- 42 RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet
- 43 RakMk C2 opas, Kosteus rakentamisessa, 1999 (RakMk C2 vanhentunut)
- 44 Stuk.fi, Radon, luettu 19.10.2017
- 45 Rakennustieto.fi, RT 81-11099, Radonin torjunta
- 46 Komonen Juha DI, Rakentajan kalenteri 2010, Betonirakenteiden kutistuminen ja halkeamien ehkäisy

