

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennusmestari (AMK) | Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2025

Valto Laurinoli

# Omakotitalon perustustavat

– pehmeikölle perustaminen



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK) | Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

12/2025 | 42 sivua

Valto Laurinoli

## Omakotitalon perustustavat

- pehmeikölle perustaminen

Opinnäytetyössä kootaan omakotitalon pehmeikölle perustamiseen sopivia perustustapoja ja perustustavan valintaan johtavia tekijöitä. Työssä kootaan laajan aihealueen asiasisältöä yhteen opinnäytetyöhön, sekä esitellään teorian toteutumista käytännössä paaluperustamisen osalla.

Koonnissa käytetään lähteenä rakennuskirjallisuutta, sekä Rakennustiedon ohjekortteja.

Perustusten tuentatavoista esitellään paalut, massanvaihto, kevennysperustus ja painopenger. Perustusrakenteista esitellään maanvaraiset, sekä ryömintätilaiset perustukset ja niiden vedeneristys-, radon- ja routasuojausratkaisuja.

Asiasanat:

pehmeikkö, perustus, paalu, omakotitalo

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Construction and civil engineering/Construction management

2025 | 42 pages

Valto Laurinolli

## House foundation methods

-Foundations on soft soil

The thesis compiles foundation methods suitable for a detached house on soft soil and the leading factors to the choice of foundation method. The thesis compiles wide subject area into one thesis, and presents the implementation of theory in practice on pile foundation.

The compilation uses construction literature and Rakennustieto instruction manuals as sources.

The presented support methods of foundations are piles, mass exchange, lightening foundation and pressure embankment. The presented foundation methods are slab-on-grade foundation and crawl space foundations. The thesis also presents waterproofing, radon- and frostprotection solutions of foundation structures.

Keywords:

Soft soil, foundation, pile, house

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Valintaprosessi ja asetukset</b>	<b>8</b>
2.1 Seuraamusluokka	9
2.2 Geotekninen luokka	10
2.3 Pohjarakenteiden toteutusluokka	11
2.4 Rasitusluokat	12
2.5 Paalutustyöluokka	12
<b>3 Pehmeikkö</b>	<b>14</b>
3.1 Ominaisuudet	15
3.2 Routa	16
3.3 Pohjavesi	19
3.4 Radon	19
3.5 Pinnan muodot ja maaperän rakenne	20
3.6 Esimerkkikohteen maaperätutkimus	21
<b>4 Pohjarakenteet</b>	<b>24</b>
4.1 Paaluperustus	25
4.1.1 Ryömintätilainen alapohja	28
4.1.2 Esimerkkikohteen perustusten alapohjarakenne	29
4.2 Massanvaihto	31
4.3 Kevennysperustus	31
4.4 Esikonsolidointi	32
4.5 Maanvarainen perustus	33
4.6 Kellariperustus	34
4.7 Vedeneristys	34
4.8 Routasuojaus	36
4.9 Kaivannot	37
<b>5 Yhteenveto</b>	<b>39</b>

<b>Lähteet</b>	<b>41</b>
----------------	-----------

## **Kuvat**

Kuva 1 Seuraamusluokat ja rakenteita koskevia esimerkkejä. (Ympäristöministeriö, 2016, luku 6a)	10
Kuva 2 Joka 50. vuosi toistuva mitoittava pakkasmäärä F50 ja ilmastovyöhykkeisiin perustuva perustamissyvyys jakauma Suomen kartalla. (RT 81-10590, s. 2)	17
Kuva 3 Rajattu kuvakaappaus, kairaustutkimuskartta kohteen asuinrakennuksen kairauspisteistä. (Maanpää Geo Oy, 2022) (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä)	22
Kuva 4 Rajattu kuvakaappaus, kairauspisteiden poikkileikkaus kohteen asuinrakennuksen kairauspisteistä. (Maanpää Geo Oy, 2022) (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä)	23
Kuva 5 Omakotitalorakentamisessa käytettävien perustustapojen soveltuvuus, erilaisilla maaperillä (RT 81-10486, luku 5.1)	24
Kuva 6 Esimerkkikohde asennetut teräspaalut (Laurinolli, 2025)	27
Kuva 7 Esimerkkikohde leikkauskuva ja toteutunut reunarakenne (vas. MJM- Plan (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä) Oy, oik. Laurinolli 2025)	30
Kuva 8 Jatkuva vedeneristäminen anturassa ja perusmuurissa (RT 83-10955)	35
Kuva 9 Epäjatkua perusmuurin vedeneristys. (RT 83-10955)	36
Kuva 10 Kaivannon luiskaus ja maksimisyvyys pehmeällä maapohjalla. (RIL 132-2000, s. 31)	38

## **Taulukot**

Taulukko 1 (Rantamäki, Tammirinne 2000, 23; Ympäristöministeriö, Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, 2.7) Pohjarakenteiden toteutusluokat	11
Taulukko 2 (Punkki, 2017, 3) Betonirakenteiden rasitusluokat.	12

Taulukko 3 (Ronkainen 2012, 9) Maalajien ryhmitys syntyperänsä ja raekokonsa mukaan.	14
Taulukko 4 (Ronkainen 2012, 9; GTK, maaperägeologinen sanasto) Maalajien rakeisuusjakauma ja yleisesti pehmeiköiksi määrittyvät maalajit.	15

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on tarkastella omakotitalojen perustamistapoja pehmeikölle perustettaessa ja käydä läpi perustamistavan valintaprosessia. Opinnäytetyö kokoaa tietoa eri lähteistä omakotitalojen rakenteellisista ja maaperän tuentatavoista, sekä niiden ominaisuuksista. Tavoitteena on lisätä omaa tietämystä perustusrakentamisesta ja perustusten tuennasta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii RS-Insinöörit Oy, joka on varsinaisuusomalainen pk-yritys. RS-Insinöörit on erikoistunut yksilöllisten uudiskohteiden, kuten omakotitalojen ja vapaa-ajan asuntojen suunnitteluun ja rakentamiseen.

Ennen omakotitalon sijainti valittiin yleensä maaperän rakennettavuuden mukaan. Nykypäivänä keskitytään sijainnissa yleensä muihin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi etäisyyksiin palveluista tai tontin hintaan. Yleinen muutos halutuissa sijainneissa ja vapaiden tonttien puutos kasvukeskuksien läheisyydessä on ajanut omakotitalorakentamista yhä enemmän rakentamisen kannalta huonoille maaperille, kuten pehmeiköille.

Omakotitalon ja muiden pientalojen perustusrakentaminen on usein yksinkertaisempaa ja nopeampaa kuin suuremmissa rakennushankkeissa, sekä ei vaadi keskimäärin maaperältä samanlaisia kantavia ominaisuuksia kuin suuremmat hankkeet. Pehmeikölle perustettaessa omakotitalot kuitenkin vaativat yleensä maaperän tai rakenteellisia tuentatoimenpiteitä, joten niiden ominaisuuksien tiedostaminen voi hyödyttää niin asiakasta kuin rakentajaakin.

Työssä keskitytään omakotitalon perustusten tuentatapoihin, sekä maanvaraisen perustamisen mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin pehmeikölle perustettaessa.

## 2 Valintaprosessi ja asetukset

Omakotitalon perustukset ja pohjarakentaminen ovat perusta rakennuksen terveydelle, kestävyydelle ja taloudellisuudelle. Perustusrakenteet ja perustusten vaatima työ ja kustannukset omakotitalo- ja pientalorakentamisessa on noin 2–20 % omakotitalon rakennustyöstä. (Rantamäki & Tamminen 2000, s.15) Perustukset on tehtävä hyvää rakennustapaa ja standardeja noudattaen. Perustusvaihtoehtoja on omakotitalorakentamisessa lukuisia, jolloin oikean perustustavan löytäminen voi auttaa rakennuksen rakennuskustannuksissa, energiatehokkuudessa, sekä säästää työtunneissa huomattavasti.

Lopullisen perustustavan päättää rakennesuunnittelija yhdessä mahdollisen geoteknisen suunnittelijan kanssa maaperätutkimuksen pohjalta, ja he määrittävät turvallisen ja toimivan perustamistapalausannon kohteelle. Valintaprosessi lähtee käyntiin tontista, onko tontti jo olemassa vai hankinnassa. Tontille tehdään asiantuntijan maastokatselmus, sekä tarkastetaan, onko tontille tai lähialueelle tehty maaperätutkimusta. Tiedot alueella tehdyistä maaperätutkimuksista saa kunnan rakennusviranomaisilta. (RT 81-10486, 1992, luku 2)

Pientalon perustustapaan vaikuttaa maaperätutkimuksen myötä saatavat maaperän pohjaolosuhteet, pinnan muodot, perustusten yläpuoliset rakenteet, sekä mahdollinen kellari. Näiden pohjalta tehdään päätös, tehdäänkö perustus maanvaraisena vai tuettuna. Maanvarainen perustus on yleinen ja yksinkertainen tapa toteuttaa omakotitalon perustukset, mutta tontin pehmeä maaperä voi rajoittaa rakennuksen ominaisuuksia maanvaraisesti perustettuna, kuten talon muoto, koko tai runkorakenteiden materiaalit. Pehmeikölle perustaessa vaaditaan pohjarakenteille lähes aina maaperää tai rakenteita tukevia ratkaisuja. (RT 81-10486, 1992, luvut 2, 3.3)

Yleisesti pyritään siihen, että perustustapa on yhtenäinen. Erilaisia perustustapoja joudutaan kuitenkin välillä käyttämään samassa rakennuksessa. Perustustapojen ja maaperän maa-ainesten eriävät painumaerot voivat aiheuttaa kiertymää rakenteille. Tärkeintä on, että perustusrakenteet tukeutuvat samaan

maa-aineskerrokseen, sekä mahdollisia perustusten painumaeroista koituvia vaurioita voidaan ehkäistä liikuntasaumoilla. (Rantamäki & Tamminne, s. 20–21)

Tiuhaan rakennetulla alueella voidaan rakennus joutua perustamaan vastaavalla tavalla kuin viereiset rakennukset maaperästä riippuen. Esimerkiksi, mikäli savimaalla viereiset omakotitalot on rakennettu kuivan kuorisaven varaan, ei uutta rakennusta perustaessa voida liian syvillä kaivuutöillä aiheuttaa pohjaveden alenemista, mikä aiheuttaisi pahimmassa tapauksessa viereisten rakennusten maapohjan kantavuuden romahduksen perustusten painumisen. (Rantamäki & Tamminne 2000, s. 23)

Pohjarakenteita suunniteltaessa ja toteuttaessa on noudatettava rakennuslakia. Ympäristöministeriön asetuksessa koskien pohjarakenteita (465/2014) vaaditaan maan ja kallion käyttäytymisen yhteensovittamista pohjarakenteiden kanssa siten, että yläpuoliset rakenteet ja rakennus toimii suunnitellulla tavalla, eikä vaurioidu eikä tule käyttökelvottomaksi. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012, luku 117a, vastaava Rakennuslaki 1.1.2025 751/2023, luku 31)

Eurokoodit, EN, ja standardit, SFS, ohjaavat omakotitalon perustusten suunnittelun ja toteutuksen vaativuuden. Perustusrakentamisessa tarvittavat suunnitteluluokat ovat seuraamusluokka, perustusten toteutusluokka, joka perustuu pitkälti geotekniseen luokkaan, ympäristöstä aiheutuva rasitusluokka, sekä tarvittaessa toleranssiluokka. Mikäli kohde paalutetaan, määritetään myös Paalutustyöluokka 1–3. Rakenteissa käytettävien materiaalien tulee olla CE-merkittyjä. (Ympäristöministeriö, Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, luku 2.3)

## 2.1 Seuraamusluokka

Rakenteille valitaan seuraamusluokka SFS-EN 1990 mukaan, jonka määrittää rakenteen vaurioitumisesta aiheutuvat seuraamukset. Luokkia on kuvan 1 mukaisesti kolme CC1-CC3. Seuraamusluokka tarkoittaa mahdollisesti rakenteiden pettäessä, sen aiheuttamien vahinkojen laajuutta. Seuraamusluokka vaikuttaa rakenteiden ja rakennuksen suunnittelussa

rakenteita laskettaessa osavarmuuskertoimien suuruuteen. Omakotitalot kuuluvat lähes aina seuraamuluokkaan 2, sillä ne ovat vakituisesti asuttuja, mutta vakituiset henkilömäärät ovat vähäisiä. (Ympäristöministeriö, 2016, luku 6)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset <sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esimerkiksi korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset <sup>2)</sup> rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä <sup>3)</sup> kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m <sup>2</sup> tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

Kuva 1 Seuraamuluokat ja rakenteita koskevia esimerkkejä. (Ympäristöministeriö, 2016, luku 6a)

## 2.2 Geotekninen luokka

Geoteknistä suunnittelua ja maaperätutkimuksia ohjaa SFS-EN 1997-1:2004: Geotekninen suunnittelu, yleiset säännöt ja SFS-EN 1997-2: Pohjatutkimus ja koestus. Maaperätutkimuksessa selvitetään maaperän geotekninen luokka GL1-GL3. Geotekninen luokka 1 tarkoittaa geoteknisiltä ominaisuuksiltaan karkeasti

helppoa maaperää, luokka 2 vaativaa ja luokka 3 erittäin vaativaa. Pehmeiköt lukeutuvat usein luokkaan 2. Luokan määrittää kohteen geotekninen suunnittelija. (Ympäristöministeriö, Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, luvut 2.7, 2.8)

### 2.3 Pohjarakenteiden toteutusluokka

Geotekninen luokitus tai seuraamusluokka määrittää pohjarakenteiden toteutusluokan 1–3. Mikäli seuraamus- tai geotekninen luokka eroavat, edetään vakavamman luokan perusteella. Toteutusluokka riippuu maaperän ominaisuuksista ja rakenteen vaatimuksista. Omakotitalojen toteutusluokka pehmeiköllä on yleensä 2. Geotekninen suunnittelija määrittää yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa kohteen pohjarakenteiden toteutusluokan, taulukko 1. (Ympäristöministeriö, Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, luvut 2.7, 2.8)

Taulukko 1 Pohjarakenteiden toteutusluokat (Rantamäki & Tamminen 2000, s. 23; Ympäristöministeriö, 2018, luku 2.7)

Pohjarakenteiden toteutusluokka	Luokitusperuste
luokka 1	Yksinkertaiset tai pienet rakenteet, maaperä karkearakeinen tai kallio.
luokka 2	Suuret rakenteet, maaperä karkearakeinen tai kallio. Pienet tai yksinkertaiset rakenteet, hienorakeinen heikosti kantava maaperä.
luokka 3	Erittäin vaativat tai suuret rakenteet. Maaperä rakentamisen kannalta haastava. Uudet pohjarakennustekniikat.

## 2.4 Rasitusluokat

Rasitusluokka määräytyy ympäristön aggressiivisuuden mukaan. Ympäristön aggressiivisuudella tarkoitetaan ympäristön rakentamisen kannalta haitallisten ominaisuuksien vaikutusta ja vakavuutta rakenteelle. Rasitusluokka määritetään rakenneosakohtaisesti. Pehmeiköillä, kuten savimaalla rasitusluokka vaihtelee saven laadun mukaan. Esimerkiksi rannikkoalueella esiintyvä savimaa voi olla sulfidipitoista, joka aiheuttaa betonirakenteisiin korroosiota, mikä tulee ottaa huomioon rasitusluokkaa määrittäessä. (Punkki, 2016, 3)

Teräsbetonirakenteiden rasitusluokkajako tapahtuu taulukon 2 mukaisesti. Rasitusluokat antavat rakennevaatimukset ympäristön vaikutusten mukaan. Perustusrakenteissa käytetään usein XC-rasitusluokkia, sillä rakenteet ovat lähes aina kosketuksissa veden kanssa.

Taulukko 2 Betonirakenteiden rasitusluokat (Punkki, 2017, 3)

Rasitusluokat	Luokitusperuste
X0	Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä
XC	Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva teräskorroosio
XD	Muun kuin meriveden aiheuttama teräskorroosio
XS	Meriveden aiheuttama teräskorroosio
XF	Jäätymis-sulamisrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä
XA	Kemiallinen rasitus

## 2.5 Paalutustyöluokka

Paalutustyöluokka, 1–3, sisältää paalun rakenteen vaatimat ominaisuudet kohteeseen liittyen, sekä huomioi paalutustyön vaatimukset. Paalutustyöluokka

määräytyy seuraamusluokan ja geoteknisen luokan mukaan. (RIL 254-2016, s. 102)

### 3 Pehmeikkö

Maalajit luokitellaan Suomessa geoteknisellä maalajiluokituksella, geoteknistä standardia SFS-EN ISO 14688-2 noudattaen. Ennen Suomessa käytettiin rakennusteknistä maalajitusluokitusta, josta nimikkeet hiesu ja hieta ovat edelleen epävirallisesti käytössä. Hiesu on geoteknisen luokittelun myötä muuttunut hienoksi siltiksi ja hieta karkeaksi siltiksi tai hienoksi hiekaksi. (Ronkainen 2012, s. 12)

Maalajit jaetaan geologisen syntytapansa ja raekokonsa mukaan eloperäisiin-, hienorakeisiin-, karkearakeisiin- ja moreenimaalajeihin taulukon 3 mukaisesti. Lajitteluun vaikuttavat eloperäisen aineksen painoprosentti maa-aineksessa, sekä maalajin raekoko. (Ronkainen 2012, s. 9)

Taulukko 3 Maalajien ryhmitys syntyperänsä ja raekokonsa mukaan. (Ronkainen 2012, s. 9)

Maalajiryhmä	Lyhennys	Ominaisuudet
Eloperäiset maalajit	E	Maalaji koostuu pääasiallisesti eloperäisestä aineksesta tai sisältää eloperäistä ainesta > 20 paino-%
Hienorakeiset maalajit	H	Lajittuneet hienorakeiset maalajit Hienoainespitoisuus ( $\leq 0,06$ mm) $\geq 50$ % Humuspitoisuus $\leq 20$ paino-%
Karkearakeiset maalajit	K	Lajittuneet karkearakeiset maalajit Hienoainespitoisuus < 50 %
Moreenimaalajit	M	Lajittumattomat, useita eri lajitteita sisältävät maalajit

Standardi SFS-EN ISO 14688-2 ei tunnista maalajia moreeni. (Ronkainen 2012, 12) Moreeni on lajittelematon maalaji. Moreeniksi luokitellaan maa-aines, jossa on vähintään 5 % soraa ja 5 % silttiä. Moreenin ominaisuudet vaihtelevat paljon

sen siltti-, hiekka- ja sorapitoisuuden mukaan. Maalaji luokitellaan eloperäiseksi, mikäli maa-aineksen humuspitoisuus on yli 20 painoprosenttia. Humus tarkoittaa eloperäistä ainesta. Eloperäisiä maalajeja ovat turve ja lieju. (Ronkainen 2012, s. 10–11)

Taulukko 4 Maalajien rakeisuusjakauma ja yleisesti pehmeiköiksi määrittyvät maalajit. (Ronkainen 2012, s. 9; GTK, maaperägeologinen sanasto)

		Maalaji	Lyhenne	Rakeiden läpimitta (mm)
Pehmeiköt	Eloperäiset maalajit	Turve		
		Lieju		
	Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	≤0,002
		Siltti	Si	>0,002–0,06
	Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk	>0,06–2,0
		Sora	Sr	>2,0–60,0
		Kivet	Ki	>60–600
		Lohkareet	Lo	>600

Pehmeiköiksi määritellään, taulukon 4 mukaisesti, hienorakeinen- tai eloperäinen maaperä, joka soveltuu lähtökohtaisesti heikosti rakentamiseen. Tällaisia maaperiä ovat mm. savi, löyhä siltti, lieju ja turve ja hienorakeiset moreenit. (GTK, maaperägeologinen sanasto)

### 3.1 Ominaisuudet

Pehmeiköillä, kuten savi ja siltti maaperän kantavuus perustuu koheesioon, eli rakeiden väliseen tartuntavoimaan. Pehmeiköillä on yleensä heikot lujuusominaisuudet ja ne vaativat rakentamisessa usein tuentatoimenpiteitä. (Jääskeläinen 2011, s. 100–101)

Eloperäisen maa-aineksen maa-aineksen varaan ei tulisi tehdä perustuksia. Eloperäisten maiden painuma on erittäin suurta ja pitkäaikaista, jolloin eloperäinen maa-aines tulee aina vaihtaa. (Jääskeläinen 2009, s. 40)

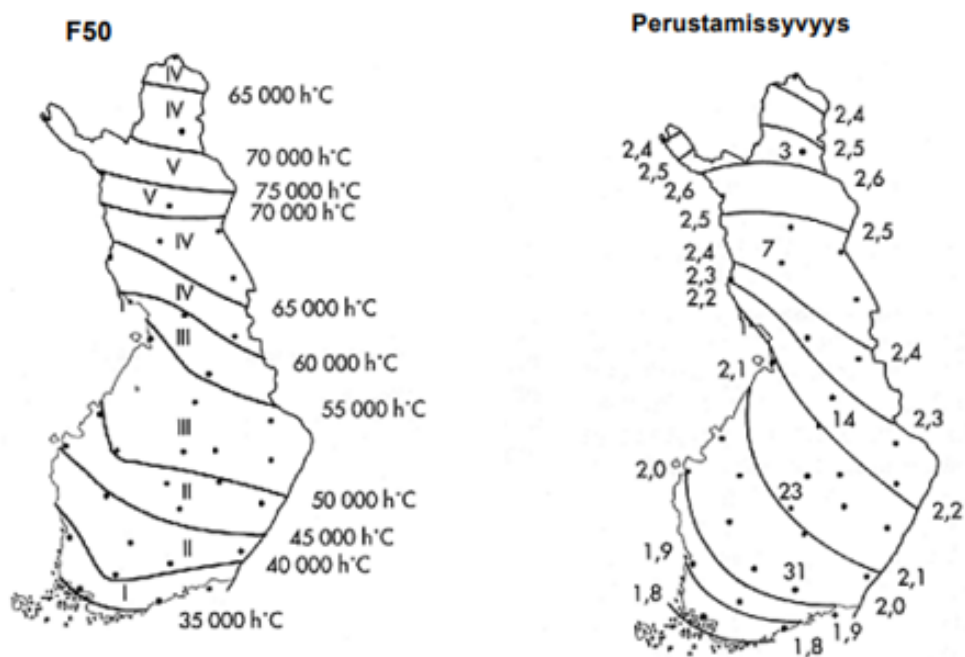
Omakotitalot ovat keskimäärin rakenteiltaan riittävän kevyitä, että ne voidaan perustaa kuivan kuorisavikerroksen varaan. Perustukset tehdään matalaperusteisina ja kuivan kuorikerroksen kaivamista tulee varoa. Kuivan kuorikerroksen varaan perustettaessa omakotitalossa tulee välttää raskaita rakenteita ja korvattava niitä kevyemmällä, kuten valuharkkojen vaihto kevytbetoniharkkoihin. Talon rakenteissa tulisi välttää raskaita kuormakeskittymiä ja jakaa kuormat mahdollisimmat tasaisesti rakennuksen alalle, jotta kuormat maaperälle jakautuu tasaisesti, tällöin välttyään rakenteiden kiertymästä. (Jääskeläinen 2009, s. 49)

Pehmeiköillä, usein hienorakeisen maa-aineksen takia, vedenläpäisevyys on erittäin heikkoa, sillä vesi liikkuu hyvin hitaasti pienten rakeiden muodostamissa käytävissä. Vesi jää tällöin maa-ainekseen tehden siitä hyvin vesipitoista. (Jääskeläinen 2011, s. 38) Korkea vesipitoisuus altistaa roudan aiheuttamille maaperänmuutoksille, kuten routanousulle. (Jääskeläinen 2011, s. 89–90) Maaperän korkea vesipitoisuus tekee maasta myös usein häiriintymisherkän. Maaperän häiriintyminen tarkoittaa maaperän kantavuuden romahtamista, sitä työstettäessä. (Jääskeläinen 2011, s. 47–48) Märkiä savimaita ja pehmeikköjä on lähes mahdotonta tiivistää, tehden niistä haastavia rakennettavia. (Larkela 2023, s. 14)

### 3.2 Routa

Routa tarkoittaa maassa olevan veden jäätymistä. Routiminen vaikuttaa maaperässä eri tavoin riippuen sen ominaisuuksista. Karkearakeisessa maaperässä pakkaneen, eli routa, ylettää syvemmälle maaperään, mutta eivät aiheuta maaperän ominaisuuksissa muutoksia. Tästä syystä karkearakeisia maita kutsutaan routimattomiksi maiksi. (Jääskeläinen 2011, s. 88)

Hienorakeisissa maissa, kuten savi- ja silttimaat, routa ei etene yhtä syvälle maaperässä, mutta se aiheuttaa maa-aineksen korkean vesimäärän takia suuria muutoksia maaperässä. Vesi laajenee jäätyessään aiheuttaen maaperässä kohoamista, sekä se väliaikaisesti lujittaa maaperää. Kun routa sulaa maaperän kantavuus romahtaa. (Jääskeläinen 2011, s. 89–90) Routimissyvyyden määrittää F50 eli arvioitu kerran 50 vuoden välein toistuva pakkasmäärä. (RT 81-10590, s. 2)



Kuva 2 Joka 50. vuosi toistuva mitoittava pakkasmäärä F50 ja ilmastovyöhykkeisiin perustuva perustamissyvyys jakauma Suomen kartalla. (RT 81-10590, s. 2)

Pakkasmäärä F50 mitoittaa routimattoman perustussyvyyden. Pakkasmäärä jakaa Suomen ilmastovyöhykkeisiin, jotka vaikuttavat arvioituun pakkasmäärään ja routimattomaan perustussyvyyteen. (RT 81-10590, s. 2) Lämpimät rakennukset, joiden lämpötila on jatkuvasti yli 17°C, voidaan perustaa routivaan syvyyteen, sillä niiden luovuttama lämpö rakennuksen alle yhdessä routasuojauksen kanssa estävät maaperää rakennuksen alla routimasta. (Jääskeläinen 2009, s. 153) Rakennuksen routasuojaus on mitoitettava riittäväksi ilmastovyöhykkeestä riippuen. (RT 81-10590, s. 3)

### 3.3 Pohjavesi

Pohjaveden pinnan korkeus on tärkeää tietää perusratkaisun kannalta. Pohjavesi sijaitsee usein 1–3 metrin syvyydessä pinnasta. Pinnan korkeus vaihtelee ollen yleensä kesäisin ja talvisin alhaalla, sekä syksyisin ja keväisin korkeammalla. Pohjaveden korkeutta seurataan havaintoputkella, josta arvioidaan pohjaveden pinnan vaihtelut. Omakotitalorakentamisessa riittää usein yksi havaintoputki, mutta mikäli tontti tai talo on suuri, saatetaan käyttää kahta havaintoputkea. (Jääskeläinen 2011, s. 280–281)

Pohjavesipinnan alapuolelle rakentamisessa tulee ottaa huomioon maaperän kannalta hienorakeisissa maissa se, että maaperän kaivuutöissä pohjavedenpinta laskee ympäristössä aiheuttaen maaperän kantokyvyn romahdusta ja maa-aines vetelöityy, jolloin kaivantoluiskat valuvat tehden maa-aineksesta vaikeasti kaivettavaa. Myös ympäröivät rakennukset voivat kärsiä pohjaveden pinnan alenemisesta, kuten paalukuormien lisääntyminen tai maanvaraisesti perustettujen rakennusten painuminen. (Rantamäki, Tamminrinne 2000, 23) Rakenteiden ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle, kuten kellarit, tulee rakenteet suojata jatkuvalla vedeneristyksellä. (RT 83-10955, luku 1.6)

### 3.4 Radon

Radon on maaperän huokosilmassa olevaa radioaktiivista kaasua, joka voi aiheuttaa pitkäaikaisesti altistettuna mm. keuhkosyöpää. Maaperän huokosilmassa radonpitoisuus vaihtelee Suomessa alueittain noin 30 000–100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Radonia saa olla sisäilmassa maksimissaan 300Bq/m<sup>3</sup>, mutta uudisrakentamiseen raja-arvoksi on asetettu 200Bq/m<sup>3</sup>. (RT 103123, luku 1,2.) Sallittu 200Bq/m<sup>3</sup> raja ylittyy ilman vastatoimia rakentamisessa suurella osalla Suomessa. (RT 103123, luku 3.)

Radon nousee sisäilmaan rakenteiden liitoskohdista, halkeamista tai huokoisten rakenteiden läpi. (RT 103123, luku 3.) Radonkaasun nouseminen sisätiloihin

voidaan estää rakenteet tiivistämällä, sekä tuuletusjärjestelmällä tai näiden yhdistelmällä. (RT 103123)

Yhtenäiset betonirakenteet ovat yleensä riittävän tiiviitä estämään radonin nousua sisätiloihin, kuten yhtenäinen reunavahvistettu laattarakenne. Rakenteiden liittymäkohdat ja läpiviennit tulee tiivistää. Liittymäkohtia voivat olla perusmuurien ja alapohjan laattojen liittymät, sekä elementti- tai harkkorakenteisten perusmuurien liitoskohdat. Tiivistämiseen voidaan käyttää mm. kumibitumikermejä, sekä esimerkiksi epoksi-, bitumi- tai sementtipohjaisia eristysmassoja. Laattojen ja perusmuurien liittymät saadaan eristettyä viemällä perusmuurin päältä laatan alle eristyskermi. Harkko- ja elementtirakenteisten perusmuurien liitoskohdat saadaan ilmatiiviiksi ohutrappaamalla perusmuurin pinta yläpinnasta anturaan asti. Läpivientien tiivistämiseksi voidaan käyttää elastisia saumamassoja, sekä saumanauhoja. (RT 103123, luku 7.)

Alapohjaan voidaan asentaa myös alapohjan tuuletuskanavisto, joka johdetaan alapohjan alta suoraan vesikatolle ulkoilmaan. Ratkaisu auttaa myös kuivattamaan maapohjaa rakennuksen alla. Kanavistoa voidaan käyttää maanvaraisissa ja ryömintätilaisissa alapohjalaatoissa, mutta suositellaan käytettävän etenkin maanvaraisissa perustuksissa. Ryömintätilaisissa perustuksissa alapohjan riittävä tuuletus korvaa kanaviston. Kanavisto tai ryömintätilan tuuletus ei usein riitä ainoana radonin estämistoimenpiteenä, vaan rakenteiden tiivistys myös vaaditaan. (RT 103123, luku 8.)

### 3.5 Pinnan muodot ja maaperän rakenne

Pinnanmuodot vaikuttavat yleensä perustamistavan kustannuksiin huomattavasti. Suuret korkeuserot, esimerkiksi rinnetonteilla, tarkoittavat yleensä enemmän kaivutöitä tai suositaan syväperustuksia, kuten ryömintätilaista ja kellarillista perustustapaa. Alimman lattianpinnan tulisi olla vähintään 200–300 mm ulkopuolista maanpintaa ylempänä. (RT 81-10486, luku 3.)

Maaperän rakenne vaikuttaa paljon perustamistavan valintaan. Pehmeä maaines voi olla paksuudeltaan ohut, alle 3m, jolloin esimerkiksi massan vaihdolla

tai kevennysperustuksella maanvarainen perustaminen voi olla mahdollista. Mikäli pehmeä maa-aineskerros on paksu, yli 3 m, tai kerrospaksuus vaihtelee, on maaperää tai perustuksia tukevat ratkaisut lähtökohtaisesti välttämättömiä. (RT 81-10486, luku 5.)

### 3.6 Esimerkkikohteen maaperätutkimus

Maaperätutkimus tarkoittaa kokonaisuutta, jossa tontin rakennettavuus selvitetään rakennuksen kantavuuden vaatimalla tavalla. Maaperätutkimus sisältää rakennusalueen kartoituksen, vaaituksen ja varsinaiset pohjatutkimukset. Maaperätutkimuksen laajuus vaihtelee kohteen mukaan, mutta usein pehmeiköillä vaaditaan laajaa ja perusteellista maaperän tutkimusta. (Jääskeläinen 2011, s. 236)

Mikäli tontille ei ole tehty maaperätutkimusta vaaditaan se yleensä suoritettavan uudisrakentamisessa rakennusvalvonnan puolesta. Rakennuslaki vaatii riittävät selvitykset rakennuspaikasta ja rakennuksen turvallisuuden varmistamisesta. (Rakennuslaki 2024/897 61) Maaperätutkimus ei vanhene, jos tontin käyttökohde ei muutu, mutta vanhoihin tutkimuksiin luottaminen siirtää vastuun uuden kohteen pohjasuunnittelusta vastaavalle. (Jääskeläinen 2011, s. 241) Maaperätutkimus kustantaa omakotitalorakentamisessa tontin ja rakennuksen koosta ja vaativuudesta riippuen 800–2500 euroa. (Uudenmaan pohjatutkimus Oy 2025)

Kartoituksessa esitetään yleensä tontin rajat ja rajapyykit, sekä mahdollisesti rajapyykkien koordinaatit. Kaikki tontilla jo olemassa olevat rakenteet, kuten vesija viemärijohdot, kaivot, jalkakäytävät, kaapelit tai muut vastaavat, rakentamisen kannalta merkittävä kasvusto ja avokallio, sekä mahdollisesti jo tulevan rakennuksen rajat. (Jääskeläinen 2011, s. 236)

Vaaitus tarkoittaa maanpinnan korkeuserojen mittaamista, korkeuskäyrät pyritään piirtämään 0,5 m tarkkuudella, loivassa maastossa 0,25 m. Tärkeitä vaaituspisteitä ovat mahdolliset ajoradat ja jalkakäytävät, sekä kaivot ja pohjatutkimuspisteet. Nykypäivänä vaaituksessa pystytään hyödyntämään kehittyneitä maastokarttoja. (Jääskeläinen 2011, s. 236)

Varsinaiset pohjatutkimukset pitävät sisällään maaperän rakennekerrosten tarkastelun, kalliopinnan tai oletetun kantavan maakerroksen tutkimisen, sekä pohjaveden pinnan selvityksen. Pohjatutkimuksesta hankituilla tiedoilla voidaan laskea maaperän kantavuus, painumat ja vesipitoisuus. Pohjatutkimusmenetelmät vaihtelevat halutun tiedon mukaan. Maaperästä tutkitaan mm. kallion tai tiiviin pohjakerroksen eli kantavan maaperän sijainti, maaperän rakennekerrokset ja likimääräisesti niiden tiiveys ja lujuus, sekä mahdollinen paalupituus. (Jääskeläinen 2011, s. 240-243)

Yleisin kairausmenetelmä on painokairaus, joka antaa yleistietoa maaperän pohjaolosuhteista. Hienorakeisten maalajien lujuuden tutkimiseen soveltuu siipikaira, jolla saadaan tarkkaa tietoa hienorakeisen maan lujuudesta. Muita kairausmenetelmiä on tärykaira, joka soveltuu tiiviin pohjakerroksen selvittämiseen, sekä porakaira, jolla selvitetään kalliopinnan sijainti. (Jääskeläinen 2011, 243) Kairauspisteet sijaitsevat lähtökohtaisesti rakennuksen nurkkien kohdalla tai kairauksia tihennetään, mikäli ollaan epävarmoja pisteiden välisistä kohdista maaperän kantavuuden kannalta. (Jääskeläinen 2011, s. 290)

Kuvassa 3 kartassa esitetään maanpinnan korko, käytöstä poistetut ja käytössä olevat rakenteet, kuten vesijohdot, sekä kairauspisteet. Kairauspisteessä näkyy oikealla kairauspisteen aloitussyvyys/maanpinta, kairauspisteen lopetussyvyys/kiinteä maapohja, sekä vasemmalla kairausvyvyys.

Kuva 3 Rajattu kuvakaappaus, kairaututkimuskartta kohteen asuinrakennuksen kairauspisteistä. (Maanpää Geo Oy, 2022) (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä)

Kohteessa on käytetty painokairaa, joka on yleisin kairausmenetelmä Suomessa. Painokaira antaa perustietoa maaperästä ja sillä saadaan hyvin selville maaperän kerrospaksuudet. Kuvassa 4 esitettyjen kairauspisteiden oikealla puolella oleva kuvaaja kertoo maaperän antamaa vastusta painokairalle, oikealle puolelle piirtyessä kaira mittaa lujuutta kiertämällä, mikäli kuvaaja on vasemmalle, se painuu painoilla painamalla. Kun kaira ei enää etene syvemmälle

kiertymällä, sitä lyödään, josta tulee kuvaajan perään merkki L, joka tarkoittaa usein kantavaa maaperää. Paksu katkoviiva kairausmerkkien alapuolella kuvastaa arvioitua paalutusvyvyttä.

Kuva 4 Rajattu kuvakaappaus, kairauspisteiden poikkileikkaus kohteen asuinrakennuksen kairauspisteistä. (Maanpää Geo Oy, 2022) (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä)

Kohteen maaperä todetaan perustustapalausunnossa vaativaksi, sekä asetetaan seuraamusluokkaan CC2 ja geotekniseen luokkaan GL 2. Kohteen maaperä on vanhaa parkkipaikkaa ja asuinrakennuksen pihamaata. Pintamaana on täyttömaa soraa, sekä humuspitoista maa-ainesta, jonka alla on, vaihtelevin kerrospaksuuksin, 1,2–3,6 metriä savea ja hiekkaa ja pohjamaana kivistä moreenia. Pohjavesipinta kulkee moreenissa. Maakerrosten paksuus ja kantavuus on hyvin vaihtelevaa, jolloin maanvarainen perustus ei onnistu epätasaisen painuman takia, sekä maamassan vaihtoon tarvittava kalusto ja täyteaines määrä ei ole taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Tontin rakennuksissa käytetään paaluperustusta ja paalutyöluokaksi asetetaan PTL 2.

## 4 Pohjarakenteet

Pehmeikölle rakentaessa maaperää tai perustusrakenteita joudutaan usein tukemaan johtuen maaperän heikosta kantavuudesta kuvan 5 kaavion mukaisesti. Tuentatoimenpiteet maksavat omakotitaloissa suhteessa perustusten kustannuksiin paljon, mutta ne ovat rakenteiden kestävyyskannalta usein välttämättömiä. Omakotitalojen perustamisessa yleisesti käytettäviä tuentatapoja ovat paaluperustukset, kevennysperustukset, sekä maamassan vaihto. Muita perustusten vahvistuskeinoja ovat mm. Syvästabilointi ja -tiivistus, mutta ne ovat omakotitalorakentamiseen kustannustensa ja mitoituksen puolesta suhteettoman suuria. (RT 81-10486, 1992)

Perustamistapa	Maaperä					
	Kallio	Tiivis tai keskitiivis hiekka, sora tai moreeni	Tiivis silttikerros	Ohut (3 m) pehmeä siltti- tai savikerros ja kuivakuorikerros	Paksu, pehmeä siltti- tai savikerros	Paksu, hyvin pehmeä siltti- tai savikerros
1 Perusmuuri ja maanvarainen alapohja	•	•	•	• <sup>1)</sup>		
2 Perusmuuri ja maanvarainen alapohja, kellari	•	•	•		•	
3 Perusmuuri ja kantava alapohja, ryömintätila	•	•	•	(• <sup>1)</sup> )		
4 Laattaperustus	(•)	•		•		• <sup>3)</sup>
5 Laattaperustus, kevennysperustus			(•)		•	
6 Pilari-palkkiperustus ja kantava alapohja, ryömintätila	•			• <sup>1)</sup>		
7 Paaluperustus ja kantava alapohja, maata vasten valettu				• <sup>2)</sup>	•	•
8 Paaluperustus ja kantava alapohja, ryömintätila				• <sup>2)</sup>		•

- 1) Massanvaihto, jos pohjavesi on kaivutason lähellä tai sen alapuolella  
 2) Paaluperustuksena, jos pohjavesi on lähellä maanpintaa  
 3) Paaluperustuksena

Kuva 5 Omakotitalorakentamisessa käytettävien perustustapojen soveltuvuus, erilaisilla maaperillä (RT 81-10486, luku 5.1)

#### 4.1 Paaluperustus

Paalutus on yleisin perustusten tuentatoimenpide omakotitalossa, kun maaperän kantava rakennekerros on liian syvällä, yli 3 m, tai kerrospaksuudet vaihtelevat, jolloin maanvaraiseen perustamiseen tai pintakerroksen kantavuus ei riitä maanvaraiseen perustustapaan. Paalut jaetaan toimintatapansa mukaan kolmeen luokkaan, tuki-, kitka-, koheesio- ja välimuotopaalut. (Rantamäki & Tammirinne, 2000, s. 43)

Pehmeille maaperille soveltuvat tuki- ja koheesiopaalut tai näiden yhdistelmä välimuotopaalu. Koheesiopaalun kantavuus perustuu paalun vaipan pinnan ja ympäröivän maaperän väliseen koheesioon, eli tartuntaan. Tukipaalussa kantavuus syntyy siitä, kun paalun kärki tukeutuu kallioon tai kantavaan tiiviiseen maaperään. Välimuotopaalut hyödyntävät molempia ominaisuuksia. Koheesiopaalua ei kuitenkaan yleensä käytetä omakotitalojen rakentamisessa, vaan se soveltuu yleensä kevyiden ja pienten rakennusten, kuten pihavarastojen ja autokatosten perustamiseen. Rakennuksen kuormitukset ja paalutustyöluokka määrittävät yleisesti kohteessa käytettävien paalujen vaadittavat ominaisuudet. (Jääskeläinen, 2009, s. 53–56)

Omakotitaloissa käytettävät paalut ovat pääsääntöisesti teräksisiä lyönti- tai porapaaluja, sekä teräsbetonisia lyöntipaaluja. Mikäli pohjamaa on kallioista tai lohkareista, tulee lyöntipaalun pää varustaa kalliojärjellä, jotta säästytään paalujen särkymiseltä. Lyöntipaalut aiheuttavat tärinää ja etenkin teräsbetoniset paalut siirtävät maata ympärillään, jolloin tiuhaan asutuilla alueilla tulee katselmoida viereisten rakennusten perustukset ennen paalutustyön aloittamista. (Jääskeläinen, 2009, s. 106–108)

Teräsputkipaalut ovat yleisesti käytettyjä paalutettavissa omakotitalokohteissa. Ne syrjäyttävät vähemmän maata kuin teräsbetonipaalut, sekä niiden paalutustyön aikaiset melu- ja täryhaitat ovat vähäisempiä kuin teräsbetonipaaluilla. Teräspaalut voidaan asentaa myös puristamalla. (Jääskeläinen, 2009, s. 106) Tyypilliset paalukoot omakotitalorakentamisessa käytettävillä teräspaaluilla on halkaisijaltaan 75–270 mm ja paksuus 6,3–12,5

mm (SSAB, RR- ja RD-paalut) Teräsputkipaaluissa käytettävän teräslaadun on täytettävä API 5 L -standardin vaatimukset. Yleisimmät teräslaadut ovat S355J2H, S440J2H, S460J2H, sekä S550J2H. teräslaji vaikuttaa paalun myötölujuuteen ja iskunkestävyyteen. (RIL 254-2-2016, s. 153)

Teräsputkipaaluja voidaan käyttää myös erikoispaaluina, eli porapaaluina. Porapaalut, kuten SSAB:n RD-teräsputkipaalut, jotka soveltuvat erityisen vaikeisiin maaperäolosuhteisiin ja mataliin paalutussyvyysiksiin, alle 5 metriä. Etenkin kalloisissa ja lohkareisissa pohjaolosuhteissa porapaalun sijainti- ja kaltevuus poikkeamat ovat pienempiä. (SSAB, RR- ja RD-paalut) Teräsputkipaaluja voidaan vahvistaa injektoimalla paaluun sementtiä, jolloin sen rasitusluokka ja kantavuus kasvaa. Teräspaaluissa käytetään paaluhattua, joka siirtää yläpuolisten rakenteiden kuormat paaluille. (Jääskeläinen 2009, s. 108, 116–118)

Teräsbetonipaalut ovat omakotitalorakentamisessa nykypäivänä vähemmän käytettyjä kuin teräspaalut johtuen niiden vaatimasta suuremmasta paalutuskalustosta. Ne myös aiheuttavat enemmän tärinää ja syrjäyttävät maata enemmän aiheuttaen muutoksia alueen maaperässä. Tyypillinen paalukoko omakotitaloissa vaihtelee noin 200x200 mm – 250x250 mm. Teräsbetonipaalu tulee sovittaa ympäristöstä johtuvaan rasitusluokkaan. (Jääskeläinen 2009, s. 106)

Paalutuskoneet voivat haastavassa huonosti kantavassa maaperässä tarvita tuentatoimenpiteitä. Mahdolliset kaivannot tulee luiskata riittävän kalteviksi, että paalutuskone pääsee liikkumaan, sekä koneelle on varattava riittävästi toiminta tilaa. Paalutuskoneen työalustana suositellaan käytettävän murskettä tai aluslavoja, jotta koneella on vakaa alusta. Paalutuskone tulee mitoittaa paalukoon ja -pituuden mukaan, sekä koneen tulee täyttää standardien SFS-EN 791 ja -996 tai SFS-EN 16228 turvallisuusvaatimukset. (RIL 254-2-2016, s. 205–206)

Pienin sallittu teräsbetonisen lyöntipaalun paalutussyvyys riippuu paalun paksuudesta, mutta ollen minimi paksuus alle 250 mm, 1,5 metriä ja paksuus yli 250 mm, mutta alle 350 mm 2,0 m (RIL 254-2016). Mikäli teräsbetonipaalun tai teräspaalun minimi paalutussyvyys, 1,5 m, alittuu, paalu korvataan usein paikalla valettavalla teräsbetonipilarilla. (Perustava Oy)

Kuvassa 6 esitetään työmaalla valmiit, asennetut teräspalkkipaalut, RR 115/6,3, teräslaji S440J2H. Paalut tukeutuvat kantavaan pohjamaahan, kiviseen moreeniin. Ryömintätilan routaeristys on tehty 100 mm EPS 120-eristeestä ja kapillaaritöissä käytetty sepeliä.



Kuva 6 Esimerkkikohde asennetut teräspaalut (Laurinolli, 2025)

#### 4.1.1 Ryömintätilainen alapohja

Paalujen yläpuolisiin rakenteisiin kuuluvat reunarakenteet, joiden tarkoitus on sitoa paalut rakenteellisesti yhtenäiseksi paaluryhmäksi. Reunarakenteen tulee kantaa paalujen välillä oma ja yläpuolisten rakenteiden kuorma jakaen sen paalujen kautta maaperään. Paalut katkaistaan niin, että ne ulottuvat vähintään 50 mm anturaan, sekä paaluanturan tai palkin reunaetäisyyden tulisi olla putkipaaluissa vähintään puolet paalun halkaisijan mitasta ja teräsbetonipaaluilla paalun sivumitan verran. (RIL 254-2-2016, s. 176, 180) Reunarakenteen varaan rakennetaan kantava laatta. Omakotitalokohteissa reunarakenteina käytetään usein paaluanturaa tai sokkelipalkkia. Sokkelirakennetta voi jatkaa myös harkkorakenteisena paaluanturan tai sokkelipalkin päälle, sekä paaluanturan päälle voidaan suoraan asentaa, nopeasti toteutettava, sokkelielementti. (Hemgren 2007)

Ryömintätilan tulee olla vähintään 800 mm korkea. Toimivan tuuletuksen varmistamiseksi tuuletusaukkojen esteettömän pinta-alan tulee olla yhteensä 4–8 promillea ryömintätilan pinta-alasta, sekä niiden korkeus ulkopuolisesta maanpinnasta vähintään 150 mm. Mikäli tuuletus on painovoimainen, suositellaan ryömintätilan ja maapohjan välistä lämmöneristystä. (RT 81-10854, luku. 2)

Ryömintätilaisissa alapohjissa yleisin laattarakenne on ontelolaatasto. Ontelolaatasto on oikein toteutettuna hyvin kantava laattarakenne, jolla päästään pitkiin jänneväleihin ilman välitukia. Yleisin omakotitaloissa käytettävä laattatyyppe on 200 mm paksu, jolla päästään noin 9–10 metrin jänneväleihin. Jänneväliä ja laataston kantavuutta pystytään kasvattamaan käyttämällä paksumpaa laattaa. Laattojen väliset saumat ja liittymä perusmuuriin saadaan yhtenäiseksi saumavalulla ja perusmuurin tartuntaraudoituksella. Ontelolaatat ovat ajallisesti erinomainen ratkaisu, sillä laataston asentaminen vie keskimäärin omakotitalossa muutaman tunnin. Ontelolaatan päälle asennetaan EPS-eristelevyt, joiden päälle valetaan teräsbetoninen pintalaatta. Ontelolaattojen valmistuksessa onteloihin kertyy usein vettä, työmaalla, mikäli laatat eivät ole

esiporattuja, tulee laattoihin porata asennuksen jälkeen reiät, jotta ylimääräinen vesi saadaan niistä pois. Betonirakenteisen alapohjan voi tehdä myös paikallavaletusta teräsbetonilaatasta, mutta hidas ja suuri muottityö ja huomattavasti hitaampi toteutusaika suhteessa ontelolaatastoon, tekee sitä aikataulullisesti järjettömän ratkaisun. (Kähkönen, 2005)

Vaihtoehtona on puurunkoisissa käytettävä omakotitaloissa käytettävä liimapuupalkisto. Puupalkiston huono puoli verrattuna ontelolaattoihin on niiden heikompi kantavuus, etenkin pitkällä jännevälillä. Ontelolaattojen jänneväleihin pääsemiseksi liimapuupalkiston paksuus kasvaa huomattavasti verrattuna ontelolaatastoon. Puurakenne tulee erottaa sokkelirakenteesta bitumikaistalla tai vastaavalla, jotta kosteus ei pääse nousemaan puurakenteisiin, sekä suositellaan käyttämään koneellista ilmanvaihtoa alapohjassa, jotta ilman suhteellinen kosteus pysyy riittävän alhaisena ympäri vuoden. Puupalkiston hyviä puolia on sen rakenteen keveys. (Liimapuukäsikirja, s. 54, Puuinfo)

Laatan voi toteuttaa myös paalulaattana, jossa yhtenäinen betonilaatta valetaan suoraan paalujen päälle, paalujen kohdalla laattaan tehdään paksunnokset, jotka korvaavat reunarakenteen. Paalulaatta on omakotitalorakentamisessa vähän käytetty ratkaisu.

#### 4.1.2 Esimerkkikohteen perustusten alapohjarakenne

Kohteeseen rakennetaan kuvan 7 mukainen yhtenäinen paikalla valettu sokkelipalkki 400x600 mm, betonin lujuusluokka C25/30 ja rasisluokka XC2. Yhtenäinen sokkelipalkki on toimiva ratkaisu paaluperustuksessa, sillä se kantaa rakennuksen- ja oman kuormansa paalujen välillä. Palkki valetaan 100 mm EPS 120-routaeristeen päälle. Sokkelipalkkia jatketaan lämpöharkkorakenteisena ylöspäin alin harkkokerros on leveämpi 400x600 mm ja loput 150x600 mm. Harkot valetaan vastaavalla betonilaadulla kuin sokkelipalkki. Sokkelin sisäpuoli eristetään 100 mm EPS120 levyillä tehden ryömintätilasta puolilämpimän. 400 mm lämpöharkko kerroksen päälle asetetaan ontelolaatasto.



Kuva 7 Esimerkkikohte leikkauskuva ja toteutunut reunarakenne (vas. MJM-Plan (Kuva piilotettu tekijänoikeussyistä) Oy, oik. Laurinolli 2025)

Kohteessa käytetään 265 mm paksuja tyyppihyväksytyjä ontelolaattoja. Laattojen pituus on 8,86 metriä. Laatat jäykistetään reunarakenteeseen saumavalulla C25/30 ja tartuntaroudoituksella. Ontelolaattoja asennettiin kohteeseen 13 kpl ja niiden asentamiseen kului aikaa kahdelta rakennustyöntekijältä noin 2 tuntia, sekä autonosturi ja kuljettaja. Saumavalussa kului aikaa kahdelta rakennustyöntekijältä noin 8 tuntia, sis. muotti- ja muut valmistelevat työt. Ontelolaatasto on erittäin nopea ja varma alapohjaratkaisu ryömintätilaisissa omakotitaloissa.

## 4.2 Massanvaihto

Massanvaihto tarkoittaa maaperän heikosti kantavan rakennekerroksen kaivuuta ja kaivannon täyttämistä perustamiseen soveltuvalla maa-aineksella, kuten soralla, sepelillä tai kevytsoralla. Massanvaihtoa voidaan käyttää myös luonnontilaisen maaperän routimisominaisuuksien vuoksi. Massanvaihto, eli rakennettu maaperä, on toimiva vaihtoehto, kun pehmeä maaperäkerros on ohut, kustannuksellisesta näkökulmasta noin 1–2 metriä. Syvemmillä pehmeiköillä kaivannon suuruus, tarvittavat täyttömaat ja koneet nostavat kustannuksia niin, että muut perustustavat ovat suositeltavia. Mikäli pohjaveden pinta on tontilla korkea, ei massanvaihtoa suositella, etenkin rakennetussa ympäristössä, sillä vaihdettaessa maa-aines karkeampaan pohjaveden pinta laskee romahduttaen ympäröivän maaperän lujuuden. Kustannuksiin vaikuttaa myös suuresti saatavilla olevan maa-aineksen laatu ja kuljetusetäisyydet. Massan vaihtoa voidaan käyttää myös perustan tasaamiseen, mikäli maan pinta on hyvin epätasainen tai kalteva. (Jääskeläinen 2009, s. 206–207; Rantamäki & Tammirinne 2000, s. 39–41)

Massan vaihtoa käytettäessä pohjarakenteet asetetaan luokkaan vaativa, maaperästä tulee selvittää maakerroksien paksuus, kantavan maapohjan lujuus, sekä perustusrakenteet tulee tehdä kestäväksi pieniä painumaeroja, esimerkiksi liikuntasaumojen avulla. (Rantamäki & Tammirinne 2000, s. 39–41)

## 4.3 Kevennysperustus

Kevennysperustus soveltuu pienille, kevyille ja yksinkertaisille omakotitaloille. Heikosti kantavalla maaperällä luonnontilaista maa-ainesta kaivetaan pois rakennuksen alta rakennuksen painon ja korvaavan maa-aineksen verran pois ja se korvataan kevyellä aineksella, kuten kevytsoralla. Kevennysperustus on pohjarakenteiden suunnittelun kannalta haastavaa, mutta se on paaluperustusta halvempi vaihtoehto. (Jääskeläinen 2009, s. 209–210) Perustusrakenteena toimii

usein reunavahvistettu laatta, sillä se jakaa rakennuksen kuormat tasaisesti maaperään, jolloin välttyään rakenteiden epätasaiselta painumalta. Vastaavasti rakenteita voidaan keventää myös käyttämällä runkorakenteissa kevyitä materiaaleja, kuten kevytbetoni- tai kevytsoraharkkoja. (Rakentaja.fi, perustustavan valinta)

#### 4.4 Esikonsolidointi

Esikonsolidointia käytetään etenkin tie- ja ratarakentamisessa, mutta sen käyttö soveltuu myös talonrakentamiseen. Esikonsolidointi tarkoittaa maaperän esikuormittamista, jonka tarkoitus on puristaa maaperästä vettä pois laskien maaperän huokosvedenpainetta ja siten aiheuttaa maaperän painuminen ennen rakentamista. Painopengerrys on yleisin esikonsolidointitapa, jossa maaperästä poistetaan eloperäinen pintakerros ja rakennus alueelle kasataan mitoitettu maa-ainesmäärä aiheuttamaan maaperän painuma. Painopenger soveltuu syville siltti maaperille, jossa maa-aineksen painuvuus on yhteneväistä ja nopeampaa kuin savimailla. Menetelmää voidaan käyttää myös savimailla, mutta savikerroksen tulisi olla ohut, noin 2–3 metriä, muuten painuma kestää kauan.

Maaperän rakennekerrosten tulisi olla mahdollisimman tasaiset, jotta painuma pysyy tasaisena. Esikuormitus on paalutukseen verrattuna edullinen vaihtoehto, mutta maaperän painuminen vaatii aikaa, keskimäärin 0,5–2 vuotta. Kustannustehokkuuden näkökulmasta suositellaan käyttämään maa-ainesta, jota tullaan käyttämään myöhemmin rakennuskohteessa tai muiden lähellä olevien rakennuskohteiden kaivuumaista, jotka toimitettaisiin painopenkereeseen maankaatopaikan sijaan. (Rantamäki, Tammirinne 2000, 195; Jääskeläinen 2009 207–209)

Painopenkere voidaan pystyojittaa, mikä nopeuttaa maaperän painumaa. Pystyojituksessa painopenkerein alle asennetaan pystysuuntaiset putket, jotka täytetään karkearakeisella maa-aineksella, jonka jälkeen putket vedetään pois. Vesi imeytyy pystyojia pitkin pohjamaahan nopeammin. (Löfman, s. 2025) Pystyojitusta ei suositella käytettävän omakotitalokohteissa johtuen sen

vaatimasta erikoiskalustosta ja korkeista kustannuksista. (Jääskeläinen 2009, a. 208–209)

#### 4.5 Maanvarainen perustus

Maanvarainen perustaminen ei ole usein mahdollista suoraan pehmeikön varaan ilman maaperän tai rakenteiden tuentatöitä. Rakennetulle maaperälle perustaessa käytetään maanvaraisia perustustapoja. Maanvaraisia yleisesti omakotitaloissa käytettäviä perustustapoja ovat perusmuuriantura-, pilariantura-, sekä reunavahvistettu laattaperustus. Pilarianturoita suositellaan käyttämään kallioilla ja erittäin hyvin kantavilla maaperillä, johtuen niiden aiheuttamasta pistekuormituksista maaperälle. Anturat ovat paikallavalettuja teräsbetonirakenteita, mutta perusmuureissa, eli sokkelissa voidaan käyttää paikallavalettua teräsbetonirakennetta, harkkorakennetta tai sokkelielementtejä.

Vaihtoehtoista reunavahvistettu laatta on edullisin ja nopein toteutettava. Rakenteen vaatimat muotit ovat hyvin yksinkertaiset ja koko alapohjan kantava teräsbetonirakenne saadaan yhdellä betonivalulla valmiiksi, sillä perinteiset reunarakenteet on korvattu paksuntamalla laattaa. (Hemgren 2007)

Maanvaraisissa perustuksissa perustussyvyys on vähintään 0,5 metriä, perustustavasta riippumatta. Maanvaraista anturaa ei saa rakentaa häiriintyneen maa-aineksen päälle. Anturoille mitoitetaan usein 10–20 mm painumalle. Häiriintynyt maakerros nostaa painuma määrää huomattavasti ja se tulee poistaa anturoiden alta. Anturan alla tulee käyttää vähintään 200 mm paksua sorakerrosta, jonka tavoitteena on estää maa-aineksen häiriintyminen ja tasata anturan pohjaa. Se toimii myös yhdessä suodatinkankaan kanssa kuivatusratkaisuna ohjaten veden salaojiin rakennuksen alla. (Jääskeläinen 2009, s. 43)

Maanvaraisissa perustuksissa pohjalaatta on lähes aina maanvarainen pehmeikölle perustaessa. Laattarakenteena käytetään yleisesti teräsbetonista paikalla valettua laattaa. Anturoiden ja perusmuurien rakentamisen jälkeen perusmuurin sisäpuoli täytetään karkearakeisella maa-aineksella, joka

tiivistetään ja sen päälle asennetaan eristyslevyt ja joiden päälle valetaan teräsbetoninen laatta. Laatta ei saa tukeutua perusmuuriin vaan maa-ainekseen, sillä laattaa ei ole mitoitettu kantavaksi, jolloin rakenteisiin tukeutuminen voi aiheuttaa vaurioita, sekä laatan kuorma jakautuu maaperälle tasaisemmin. Laatta on tyypillisesti paksuudeltaan 80–120 mm paksu, lukuun ottamatta reunavahvistettua laattarakennetta, jossa laatta on kantava ja paksuus vaihtelee tyypillisesti 160–200 mm. Per Hemgren. Laatan yläpinnan tulee olla 300 mm ympäröivää maanpintaa korkeammalla, mikäli ei ole, tulee sokkeli vedeneristää. (RT 81-10854, 2-3)

#### 4.6 Kellariperustus

Kellaria pidetään normaalisti omakotitalorakentamisessa kalliina ratkaisuna, mutta jos maaperän kantavuus on heikko ja maaperää joudutaan kaivamaan joka tapauksessa pois massanvaihdon yhteydessä tai maaperä joudutaan paaluttamaan, voidaan vaihtoehtoisesti käyttää kellarirakennetta. Kellariperustus sopii pehmeikölle perustamiseen maanvaraisena, mikäli pehmeän maakerroksen paksuus on ohut, alle 3 m (RT 81-10486, 1992) Kellarin perustusrakenteet ovat usein vastaavia kuin muissakin maanvaraisissa rakenteissa. Kellariperustamisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon kellarin seiniin kohdistuva maanpaine, sekä maaperän ominaisuuksien mukaan seinien vedeneristys. Kellarin seinärakenteet voivat olla paikalla valettuja teräsbetonirakenteisia, harkkorakenteisia tai elementtirakenteisia. (Hemgren 2007)

#### 4.7 Vedeneristys

Perustuksen vedeneristys on jatkuvaa- ja epäjatkovaa vedeneristystä. Jatkuvassa vedeneristyksessä vedeneriste on tiivis ja jatkuvan vedenpaineen alaisena, kuten anturat, kellarien seinät tai, jos maaperässä on korkeat radonpitoisuudet. Epäjatkuva vedeneristys ei ole vesitiivis vedenpaineen alaisena, vaan sen tarkoitus on ohjata vettä, kuten sadevedet ja sulamisvedet, pois päin rakenteesta, käyttökohteet ovat yleensä perusmuurit. Yleensä jatkuva

vedeneristys riittää anturan alaosasta 300 mm perusmuuriin, josta jatketaan epäjatkuvalle vedeneristyksellä noin 50 mm maanpinnan alapuolelle. Ulkoseinän alareunan ja sokkelin yläpinnan tulisi olla 0,3 metriä ympäröivän maanpinnan yläpuolella, muuten sokkeli joudutaan eristämään jatkuvalla vedeneristyksellä kauttaaltaan (RT 83-10955)

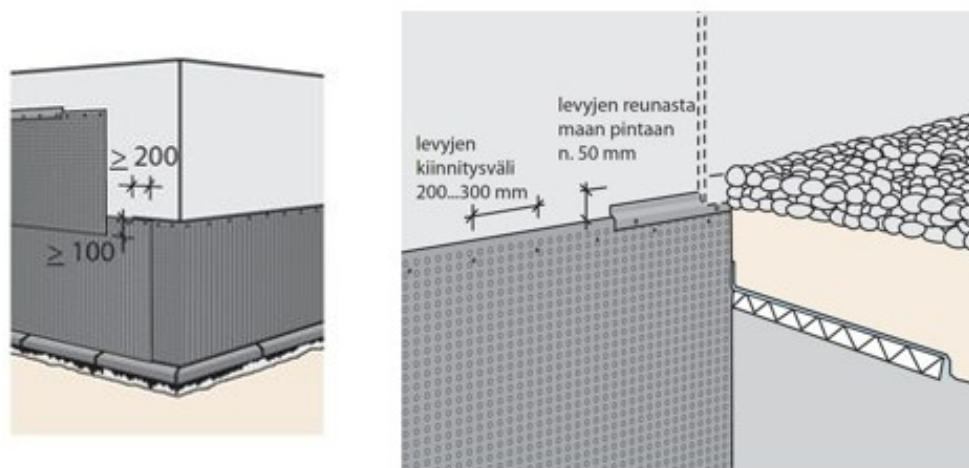
Jatkuvat vedeneristysmateriaalit ovat usein kumibitumisia kermejä, kuten kuvassa 8 esitetään. Alustasta tulee poistaa epätasaisuudet, mahdollinen muotti öljy ja muut epäpuhtaudet, jotta kermien tartunta varmistetaan. Kermit tulee limittää pystysuunnassa 100 mm ja vaakasuunnassa 150 mm, kuvan 8 mukaisesti. Muita jatkuvia vedeneristysratkaisuja ovat levitettävät massaeristeet ja vedeneristyslaastit, jotka voivat olla bitumi- epoksi tai sementtipohjaisia. Eristeet levitetään pintaan telalla, harjalla, ruiskulla tai lastalla tuotteen mukaan. Mikäli perustuksen ulkopintaan tulee vedeneristys, ei sisäpintaa saa suoraan vedeneristää, sekä mahdollisessa pinnoittamisessa on käytettävä hengittäviä materiaaleja. (RT 83-10955, luvut 2-3)



Kuva 8 Jatkuva vedeneristäminen anturassa ja perusmuurissa (RT 83-10955)

Epäjatkuvalle vedeneristämiseksi käytetään yleisesti perusmuurilevyjä. Perusmuurilevyjen eli patolevyjen toiminta perustuu rakenteesta tulevan kosteuden tiivistymiseen levyn pintaan, josta se valuu sen nystyrä- tai uritettua

pintaa pitkin salaojiin. Levyt tulee limittää pystysuunnassa 200 mm ja vaakasuunnassa 100 mm, nurkkien yli viettäessä levyn tulee ulottua 600 mm nurkan ylitse, kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9 Epäjatkuva perusmuurin vedeneristys. (RT 83-10955)

#### 4.8 Routasuojaus

Routasuojaus riippuu pitkälti kohteen sijainnista, aiemmin routa kappaleessa mainitusta, mitoittavasta ilmastovyöhykkeestä. Routasuojaus tapahtuu EPS-, XPS-eristelevyillä tai kevytsoralla. Routasuojaus sijoitetaan vähintään 400 mm:n syvyyteen maanpinnasta vaakasuuntaan, kuitenkin ollen alimmaisen perustusrakenteen, usein anturan, yläpuolella, lukuun ottamatta paaluja, sekä routivalla maaperällä syvyys on usein minimi 600–1000 mm maanpinnasta. Eristelevyjä käytettäessä routaeristyksen paksuus vaihtelee 50–250 mm riippuen sijainnista ilmastovyöhykkeellä. Nurkkien ja sisäänkäyntien kohdalla eristyspaksuus on yleensä kaksinkertainen eristys normaaliin seinälinjaan nähden. Suojauksen tulee ylittää 1000 mm päähän rakenteesta ja viettää poispäin rakenteesta 1:10. Kevytsorassa kerrospaksuus on 150–500 mm, sekä se ei sovellu routasuojaukseen kaikilla ilmastovyöhykkeillä. Kevytsora on eristysmateriaalina kustannuksiltaan hieman suurempi, sekä työläämpi levittää,

joten sitä suositellaan käytettävän vain kohteissa, jossa kevytsoraa käytetään jo esimerkiksi massanvaihdon tai salaojien yhteydessä. (RT 81-10590)

Esimerkkikohte sijaitsee Varsinais-Suomen alueella ja kuuluu siten ilmastoluokkaan 1. Kohteessa on ryömintätila, pienillä tuuletusaukoilla, joten RT 81-10590 (1992) mukaan minimi routaeristeen paksuus on eristelevyllä 75 mm. Kohteessa käytettiin 100 mm EPS 120 routa, sekä rakennuksen kulmissa ja sisääntuloreittien edustalla paksuus on 200 mm.

#### 4.9 Kaivannot

Kaivanto voidaan tehdä tuettuna tai luiskattuna. Toteutustapa valitaan lähtökohtaisesti kustannusten perusteella, mutta valintaan vaikuttaa maaperän ominaisuudet ja pohjavesiolosuhteet. Pehmeiköllä kaivettaessa maa-aineksen herkkyyks voi koitua ongelmaksi. Maa-ainesta kaivettaessa maaperässä olevan vedenpinnan taso laskee romahduttaen sen kantavuuden. Myös sateet ja keväisin roudan sulaminen saa pehmeän maa-aineksen veteläksi, siksi syvempien kaivantojen tulisi lähtökohtaisesti olla aina tuettuja. (Rantamäki, Tammirinne 2000, 104–105)

Kaivannon luiskan kaltevuus ja kaivannon maksimisyvyys riippuu maapohjan leikkauslujuudesta, kuvan 10 mukaisesti. (RIL132-2000, s. 31) Huomioitavaa on myös, että kaivuumaat ja suuret työkoneet tulee pitää kaukana luiskan reunasta, noin 5 m, jotta kaivannon reunat eivät romahda. (Aluehallintovirasto) Yli kahden metrin syvyisissä kaivannoissa vaaditaan pehmeiköllä erikseen kaivantosuunnitelmaa.

Maapohja	Luskan kaltevuus					
	5:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3
	Kaivannon maksimi syvyys (m)					
Hyvin pehmeä savi, leikkauslujuus 7-	-	-	-	1,7	1,9	2,1
Pehmeä savi, leikkauslujuus 10-20kPa	1,6	1,7	1,9	2,3	2,5	2,7
Sitkeä savi, leikkauslujuus >20kPa	2	2,5	3	3,20	3,7	4,0

Kuva 10 Kaivannon luiskaus ja maksimisyvyys pehmeällä maapohjalla. (RIL 132-2000, s. 31)

Kaivanto voidaan tehdä myös tuettuna, mikäli sallitut kaivantosyvyydet eivät riitä, tai kaivantoa ei mahduta luiskaamaan riittävästi tontilla. Tuettu kaivanto suunnitellaan lähtökohtaisesti geoteknisen suunnittelijan toimesta. (Jääskeläinen 2009, s. 179-180)

## 5 Yhteenveto

Pehmeikölle perustettaessa perustustavan valintaan vaikuttaa pitkälti maaperän pehmeän maa-aineksen kantavuusominaisuudet ja maa-ainesten kerrospaksuudet. Pehmeikkö on lähtökohtaisesti kantavuus- ja muokattavuusominaisuuksiltaan rakentamiselle heikko maaperä. Omakotitalon perustaminen pehmeikölle vaatii rakenne- ja geotekniseltä suunnittelijalta varmaa ammattitaitoa, jotta rakenteellisesti toimiva perustustapa saadaan vastaamaan asiakkaan tarpeita.

Yleisin omakotitalossa käytettävä tuettu perustustapa on paaluperustus. Paaluperustus on toimintavarma tapa perustaa omakotitalo ja se soveltuu lähes kaikenlaisille pehmeille maaperille. Kustannukset ja työaika vaihtelevat käytettävästä paalutyypistä, paalupituudesta ja tarvittavasta paalumäärästä riippuen.

Massanvaihto on yleinen maaperän tuentatoimenpide, se soveltuu matalille pehmeiköille. Massanvaihto on edullisempi tapa tukea omakotitalon perustuksia, kuin paaluperustus, mikäli pehmeikkö on noin maksimissaan noin 2–3 metriä syvä. Tätä syvemmälle mentäessä kaivuutyön, täyttömaa-aineksen ja tarvittavien koneiden kustannukset nousevat, jolloin suositellaan muita perustusten tuentatapoja.

Painopenger on harvemmin käytetty tuentatapa, sillä toimiakseen se vaatii maaperästä riippuen aikaa 0,5-2 vuotta. Painopenkereen toimintavarmuus riippuu maa-ainekerrosten paksuuden vaihtelusta, se soveltuu parhaiten maaperään, jossa maa-ainekerrokset ovat tasaisia ja painuu siten tasaisemmin. Painopenger on hyvin kustannustehokas ratkaisu suhteessa paaluperustamiseen, mutta se on aikataulullisesti haastava, koska siihen kuluu paljon aikaa ja toiminnan varmistaminen vaatii suunnittelijalta osaamista.

Maanvarainen perustaminen pehmeiköllä on suositeltavaa vain hyvin ohuilla pehmeillä maa-ainekerroksilla, jotta painuma pysyy hallituissa rajoissa. Toinen vaihtoehto on käyttää kellaria, jolloin pehmeä maa-aines kaivetaan pois kellarin

tieltä. Matalaperusteiset maanvaraiset omakotitalot ovat rakenteelliselta kuormaltaan ja talon muodoiltaan rajoitettuja pehmeikölle perustaessa, jotta hallittu painuma olisi tasaista koko rakennuksen alalla.

## Lähteet

Aluehallintovirasto. (2010) Kapeat kaivannot (Työsuojeluoppaita ja -ohjeita) Työsuojeluhallinto.

<https://www.jarvenpaanvesi.fi/files/504d5feef9902d5f7ca3db05627e8678b80c82fe/kaivanto-ohje.pdf>

Geologian tutkimuskeskus (GTK). Maaperägeologista sanastoa.

<http://weppi.gtk.fi/aineistot/sanasto/maaperasanasto.htm>

Hemgren, P. (2007) Pientalon perustukset. Rakennustieto.

Jääskeläinen, R. (2009) Pohjarakennuksen perusteet. (3. painos). Bookwell.

Jääskeläinen, R. (2011) Geotekniikan perusteet. (3. painos). Bookwell.

Kähkönen, P. (2005) Ontelolaattojen käyttö pientalorakentamisessa. Betoni, 2.

[https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2015/10/BET0502\\_s41-43.pdf](https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2015/10/BET0502_s41-43.pdf)

Larkela, L. (2023) Maalajien ominaisuudet osa 1, Geotekniikka. Turun ammattikorkeakoulu, opetusaineisto.

Löfman, M. (2025) Painopenger ja pystyjoitus pehmeiköllä, instrumentointi rakentamisen seurannan ja pystyjoituksen toimivuuden arvioinnin tukena.

Ramboll. <https://sgy.fi/content/uploads/2025/01/13-lofman1.pdf>

Perustava. (ei pvm.) Paalutus.

<https://www.perustava.fi/ammattilaiset/paalutus>

Punkki, J. (2016) Betonipaalujen säilyvyys ja rasitusluokat. Paalutusseminaari.

Aalto-yliopisto. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2016/11/7-Jouni-Punkki-Paalujen-sailyvyys-ja-rasitusluokat.pdf>

Punkki, J. (2017) Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Aalto-yliopisto.

[https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702\\_66-71.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_66-71.pdf)

Puuinfo. (2020) Ulkoilmalla tuuletettu puualapohja.

<https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/ulkoilmalla-tuuletettu-puualapohja/>

Rakentaja. (2025) Perustustavan valinta ja perustusratkaisuja.

<https://rakentaja.fi/artikkelit/perustustavan-valinta-ja-perustusratkaisuja/>

Rantamäki, M. & Tamminne, M. (2000). Pohjarakennus. (11. painos.) Otatieto.

RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL

RIL 132-2000. Talonrakennuksen maarakenteet, yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL

RIL 254-2016. Paalutusohje 217 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL  
(Viitteessä: RIL 254-1-2016, RIL 254-2-2016)

Ronkainen, N. (2012) Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskus. <https://helda.helsinki.fi/items/7094e61d-14de-448c-aed6-9601ffa16bc0>

RT 81-10486. (1992) Pientalon perustamistavan valinta. Ohjekortti.

Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2081-10486>

RT 81-10590. (1995) Routasuojausrakenteet. Ohjekortti. Rakennustieto.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2081-10590>

RT 103123. (2019) Radonin torjunta. Ohjekortti. Rakennustieto.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103123>

RT 81-10854. (2005) Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. Ohjekortti.

Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2081-10854>

RT 83-10955. (2009) Perustusten ja perusmuurin veden- ja kosteudeneristys.

Ohjekortti. Rakennustieto <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2083-10955>

SSAB. (2025) RR- ja RD-paalut, Suunnittelu- ja asennusohjeet.

<https://www.ssab.com/>

[/media/files/fi/infra/ssab\\_rr\\_ja\\_rd\\_paalut\\_suunnittelu\\_ja\\_asennusohjeet.pdf?m=20251107090605](https://www.ssab.com/media/files/fi/infra/ssab_rr_ja_rd_paalut_suunnittelu_ja_asennusohjeet.pdf?m=20251107090605)

Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo. (2014). Liimapuukäsikirja, osa 1.

<https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>

Uudenmaan pohjatutkimus. (2025). Kuinka paljon pohjatutkimus maksaa omakotitaloa varten. Helsinki. <https://uudenmaanpohjatutkimus.fi/kuinka-paljon-pohjatutkimus-maksaa-omakotitaloa-varten/>

Ympäristöministeriö. 2016. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F\\_E7C4\\_4653\\_BF44\\_1AB47FB50CB0-137127.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf)

Ympäristöministeriö. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Pohjarakenteiden suunnittelu. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6\\_C824\\_413F\\_BB52\\_7A9DF0EDC210-137126.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6_C824_413F_BB52_7A9DF0EDC210-137126.pdf)

Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. 17.6.2014 465/2014. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2014/465>