

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Tutkintotyö

Jari Mäntysalmi

**SIIRTOKELPOISTEN RAKENNUSTEN ERI PERUSTUSTAPOJEN
KUSTANNUSVERTAILU JA ONTELOLAATTAPERUSTUKSEN ALUSTAVA
PAINUMALASKENTA**

Työn ohjaaja: Yliopettaja Jouko Lähteenmäki

Työn teettäjä: Tilamarkkinat Oy, valvojana DI Timo Toivanen

Tampere 2006

Tekijä:	Jari Mäntysalmi	
Työn ohjaaja:	Yliopettaja Jouko Lähteenmäki	
Työn teettäjä:	Tilamarkkinat Oy, valvojana DI Timo Toivanen	
Koulutusohjelma:	Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Tutkintotyön nimi:	Siirtokelpoisten rakennusten eri perustustapojen kustannusvertailu ja ontelolaattaperustuksen alustava painumalaskenta	
Työn valmistumis- kuukausi ja -vuosi:	Huhtikuu 2006	
Työn tilaaja:	Tilamarkkinat Oy	Sivumäärä: 24

TIIVISTELMÄ

Rakennuksen perustuksilla on tärkeä merkitys rakennuksen vakavuuden ja säilymisen kannalta. Perustukset valitaan maaperän eli perustamisolosuhteiden mukaan. Myös kuormat ja rakenteiden muodonmuutosten kestävyys vaikuttavat perustamistavan valintaan. Tässä työssä tarkasteltiin eri perustustapojen kustannuksia. Tarkasteltavana olivat kolmenlaiset perustamisolosuhteet: helppo, keskivaikea ja vaikea. Kyseessä on siirtokelpoisten rakennusten perustusvaihtoehdot eli kustannuksia tarkasteltiin yleisellä tasolla. Pohjana käytettiin 4-luokkaista L:n mallista koulurakennusta. Kustannukset selvitettiin jo toteutettujen kohteiden kustannustietojen avulla. Kaikissa tapauksissa käytettiin lähtökohtana ryömintätilaista alapohjaa. Selvästi edullisin perustusratkaisu on sorakentälle tehtävän tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset. Tämä perustamiskorjaus vaatii kuitenkin valmiiksi kantavan rakennuspohjan, yleensä se on esimerkiksi koulun pihalle rakennettu sorakenttä tms. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollinen perustusratkaisu, joten joudutaan käyttämään muita tarkasteltuja perustusratkaisuja.

Työssä tarkasteltiin myös mahdollisuutta käyttää esim. ontelolaattoja anturoina perustuspalkkien alla. Tämän tarkastelun avulla selvitetään, onko kyseinen perustamistapa teoriassa mahdollinen painumien osalta.

Supervisor of work: Jouko Lähteenmäki
Commissioning Company: Tilamarkkinat Oy, supervisor M.Sc Timo Toivanen
April 2006
Creator: Jari Mäntysalmi
Training programme: Construction Technology
Name of the diploma work: Compare of costs of moving buldings foundations and tentative calculation of settlement
Thesis supervisor: Jouko Lähteenmäki

ABSTRACT

An intention of this work was to inspect costs of different styles of foundations. Objects of inspecting were thee different conditions: easy, medium difficult and difficult. In question are foundations of moving buildings so costs are inspected at common level.

Possibility to use hollow core concrete slabs by footings under foundation blocks was intention of this work too. This inspection tells, is that style of foundation possible when in question is settlement. This kind of foundation would be fit suited for moving buildings, because all parts of foundation could be removed and use again with some other same kind of moving building.

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Tilamarkkinat Oy:tä haastavasta ja monipuolisesta tutkintotyön aiheesta. Työ oli hyvin opettavainen ja haastava. Työn tekemiseen sain Tilamarkkinat Oy:ltä ammattitaitoista ohjausta, joka havainnollisti tilaelementtirakentamisen luonnetta. Haluaisin myös kiittää geotekniikan päätoimista tuntiopettajaa DI Pirjo Hietalaa, joka oli suureksi avuksi painuma-asioiden selvittämisessä ja laskemisessa sekä yliopettaja Jouko Lähteenmäkeä, joka opasti kustannusten selvittämisessä ja valvoi työn edistymistä.

Tampereella 19.04.2006

Jari Mäntysalmi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tutkintotyön tehtävä ja tavoite	6
1.2	Yrityskuvaus	6
2	PERUSTUKSET	7
2.1	Tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset	7
2.2	Yksittäisanturat teräsbetoniperustuselementit	8
2.3	Paalutettava maaperä (Rautaruukin RR-teräasperustus).....	9
3	LASKETTAVAN KOHTEEN KÄSITTELY	11
3.1	Kustannusten laskenta	11
3.2	Tulokset	11
3.2.1	Tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset	11
3.2.2	Yksittäisanturat ja sokkelielementit	13
3.2.3	Paikallavaletut perustukset	14
3.2.4	Paalutettava maaperä (Rautaruukin RR- teräasperustus	14
3.2.5	Ontelolaatat anturoina perustuspalkkien alla	15
3.2.6	Neliömäärän vaikutus kustannuksiin	15
3.2.7	Yhteenveto	16
4	PAINUMATARKASTELU	16
4.1	Yleistä.....	16
4.2	Raja-arvot	17
4.3	Painumalaskennan perusteita	18
4.4	Alustava painumien laskenta.....	20
4.5	Painumalaskujen tuloksia	21
4.6	Yhteenveto	22
	LÄHTEET	24

LIITTEET

- Liite 1 Tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset 250 mm
- Liite 2 Tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset 500 mm
- Liite 3 Yksittäisanturat+ParmaParel-sokkelielementit
- Liite 4 Yksittäisanturat+teräsbetonisokkelielementit
- Liite 5 Ontelolaatat+perustuspalkit
- Liite 6 Jännityslisäyksen jakautuminen
- Liite 7 Painumalaskut ilman kuivakuorikerrosta
- Liite 8 Painumalaskut 1 m:n kuivakuorikerroksella
- Liite 9 Alkupainuman määrittäminen
- Liite 10 Laskettavan kohteen piirustukset

1 JOHDANTO

1.1 Tutkintotyön tehtävä ja tavoite

Työn tavoitteena oli vertailla siirtokelpoisten rakennusten eri perustamisolosuhteille soveltuvien perustustapojen kustannuksia.

Työssä selvitettiin perustusvaihtoehtoja kolmenlaisissa perustamisolosuhteissa. Olosuhteina olivat helppo eli sorakentälle tasauseros ja perustuspalkit, keskivaikkea eli anturat ja ParmaParel-perustuspalkit sekä anturat ja teräsbetonielementit ja vaikea eli paalutettava maaperä, jossa käytetään Rautaruukin RR-teräsperustusta. Tavoitteena oli selvittää näiden eri tapauksien kustannukset. Pohjana käytettiin 4-luokkaista L:n mallista koulurakennusta. Kustannukset selvitettiin jo toteutettujen kohteiden kustannustietojen avulla. Kaikissa tapauksissa käytettiin lähtökohtana ryömintätilaista alapohjaa.

Tavoitteena työssä oli myös selvittää, voidaanko heikolla eli normaalisti paalutettavalla maaperällä käyttää perustuspalkkien alla anturoina ontelolaattoja. Tämä perustamistapa soveltuisi erittäin hyvin siirtokelpoisten rakennusten perustukseksi, sillä rakennuksen tarpeen päättyessä voitaisiin tilaelementtien lisäksi perustukset kokonaisuudessaan purkaa ja käyttää tulevilla kohteilla. Maaperäksi oletettiin heikosti kantava savi. Tarkastelun kohteena olivat painumat.

1.2 Yrityskuvaus

Tilamarkkinat Oy on tilaelementtialan markkinajohtaja Suomessa. Ylöjärven yksikkö vastaa tilaelementtirakenteisen tuotannon markkinoinnista, tuotekehityksestä ja suunnittelusta sekä projektienhallinnasta. Valmistus tapahtuu konsernin kahdessa tuotantolaitoksessa, jotka sijaitsevat Leppävirralla ja Pyhäjoella. Tilamarkkinat Oy:n henkilöstön kokonaisvahvuus on keskimäärin 150 henkilöä. Yhtiö kuuluu Rakentajain Konevuokraamo -konserniin. Tilamarkkinat Oy on erikoistunut yritysten ja julkisyhteisöjen toimitiloihin. Päätuotteita ovat

toimistot, koulut, päiväkodit, asuntolat, sosiaalityöt, työmaatilat ja hallirakennukset. /7/

Tilaelementtirakentaminen

Tilaelementtitekniikka tarjoaa mahdollisuuden tuottaa rakennuksia, jotka ovat helposti muunneltavissa, laajennettavissa ja siirrettävissä. Täsmälleen tarvetta vastaavat tilat on mahdollista rakennuttaa toiminnan kannalta optimaaliseen paikkaan ostamatta rakennusta omaksi. Kun rakennus on siirtokelpoinen, sen voi saada käyttöönsä myös vuokraamalla./7/ Tilaelementtirakentaminen on yleistynyt viimeaikoina.

2 PERUSTUKSET

Perustukset ovat tärkeä osa rakennuksessa. Niiden tehtävänä on siirtää rakenteiden aiheuttamat kuormitukset maa- ja kalliopohjalle niin, että maapohjan kantavuus ei vaarannu ja että perustusten painumat ja niistä johtuvat rakenteiden muodonmuutokset pysyvät siedettävänä. Tilaelementtirakentamisen luonteesta johtuen on hyvä ottaa huomioon myös perustusten siirtokelpoisuus. Näin rakennuksen tarpeen päätyttyä voidaan myös perustukset purkaa ja niitä voidaan hyödyntää tulevilla kohteilla. Perustamistapa riippuu tietenkin perustamisolosuhteista.

2.1 Tasauserroksen päälle tehtävät perustukset

Yleinen perustamistapa tilaelementtirakentamisessa on tehdä kantavalle sorakentälle salaojitus, routasuojaus sekä tasauserros, jonka päälle asetetaan esim. teräsbetonipalkit (lyöntipaalut) tai puupalkit kumolleen ja niiden päälle tilaelementit. Tämä ratkaisu on tässä työssä vertailtavista vaihtoehdoista helpoin toteuttaa sekä siirtokelpoisiin. Tasauserroksena käytetään kantavaa sorakerrosta. Tämä tapa edellyttää kantavan maaperän, kuten esimerkiksi rakennetun sorakentän. Kustannukset lasketaan rakennuksen pinta-alan mu-

kaan arvioimalla edellä mainittujen töiden työ- ja materiaalikustannukset. Sokkelina käytettävät palkit voidaan hyödyntää tulevissa kohteissa.



Kuva 1. Tasauskerroksen päälle tehtävät perustukset.

2.2 Yksittäisanturat teräsbetoniperustuselementit

Tämä perustamistapa sisältää tasokaivun perustamissyvyyteen, salaojituksen, anturaelementtien asennuksen, sokkelielementtien asennus- ja juotosvalutyöt, routasuojauksen, kunnallistekniikan asennuksen rakennuksen alle, ryömintätilan alustäytön sekä sokkelin ulkopuolisen vierustäytön. Kustannukset laskettiin kahdella erilaisella kantavalla sokkelielementillä:

- ParmaParel C8P30:lla /2/
- umpinaisella teräsbetonielementillä

Sokkelielementit laskettiin tässä työssä n. 7-metrin mittaisina.

Anturoina käytetään tehdasvalmisteisia anturaelementtejä. Anturaelementtien koko ja jako määritellään maapohjan kantavuuden mukaan. Tässä perustamis-

tapauksessa siirtokelpoisia osia ovat anturaelementit sekä sokkelielementit.

Tämä perustamistapa sopii maaperälle, joka kantaa yksittäisanturoiden aiheuttamat kuormat.

Sokkelielementit ja anturaelementit voidaan käytön jälkeen hyödyntää tulevis-
sa kohteissa.

2.3 Paalutettava maaperä (Rautaruukin RR-teräsperustus)

Rautaruukin RR- teräsperustus koostuu teräspaaluista sekä paalujen päälle koottavasta teräsrunosta, jonka päälle voidaan asentaa tilaelementit. Tämä perustamistapa ei vaadi salaojitusta. Koska routiminen pääsee vaikuttamaan vain teräsmaalun vaipan pintaan, ei tarvita kallioon ankkuroituvilla porapaaluilla eikä vähintään 6 metriä syvälle maahan lyödyillä lyöntipaaluilla myöskään routasuojausta. /6/ Ryömintätilaan on kuitenkin syytä tehdä kapillaarikatko esim. salaojatorasta. Paalutus voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla: porapaalutuksena ja lyöntipaalutuksena. Porapaalutusta käytetään, jos paalun pituus jää alle 5 m:n tai vastassa on kallio. Tässä tapauksessa paalut olisi teoreettisesti mahdollista käyttää uudelleen, mutta kustannussyistä johtuen paalut yleensä katkaistaan ja peitetään. /6/ Lyöntipaalutusta käytetään, jos paalun pituus ylittää 5 m. Tämän paalutustyylin paalut ovat kertakäyttötavaraa, sillä pois nostettaessa niihin kohdistuu suuri vetorasitus ja paalut voivat vaurioitua. Näin ollen niiden lujuus ei riitä käytettäväksi kantavina paaluina uudelleen. Paalujen päälle koottava teräsrunko voidaan käytön jälkeen purkaa ja hyödyntää tulevissa kohteissa. /6/



Kuva 2. Rautaruukin RR- teräspöerustus sekä 4 tilaelementtiä paikoillaan.

Taulukko 1. Suomessa toimivat RR-teräspöerustusurakoitsijat. /1/

Suomen Teräspöalutus Oy PL 1 21201 Raisio Puh. (02) 437 1100 tai 040-527 7877 Fax (02) 438 3711	Kankareen Paalutus Loimaantie 7 32500 Oripää Puh. 050-527 3614 Fax (02) 766 1775
Maarakennus Maasto-Seppo Oy Heikinniementie 37 90650 Oulu Puh. (08) 531 5303 Fax (08) 531 5425	Norrgårds Gräv Ab 66800 Oravainen Puh. (06) 385 0581 tai 0500-367 913 Fax 06 385 0818
Sumak Oy PL 21 95401 Tornio Puh. 0400-392 474 Fax +46 (0)922 124 96	Suomen Runkopalvelu Oy Katriinantie 48 01760 Vantaa Puh. (09) 899 237 tai 0400-411 693 Fax (09) 899 237

3 LASKETTAVAN KOHTEEN KÄSITTELY

Laskettava kohde on kerrosalaltaan 444,6 m²:n kokoinen 4 luokkahuonetta ja opettajanhuoneen sisältävä tilaelementtirakenteinen koulurakennus. Rakennuksessa on myös kaksi porraskatosta, joista toisessa on luiska. Rakennuksen huoneistoala on 413 m² ja tilavuus 1520 m³. Rakennus koostuu yhdeksästä tilaelementistä eli ”viipaleesta”. Tilaelementit valmistetaan tehtaassa ja kuljetaan suojattuna työmaalle. Työmaalla elementit nostetaan paikoilleen ja saumat tiivistetään ja verhoillaan.

Rakennus on puurakenteinen ja ryömintätila-alapohjainen. Rakennuksesta lisää liitteessä 10. (Piirustukset ei ole mittakaavassa).

3.1 Kustannusten laskenta

Kustannusten laskenta pohjarakenteiden osalta suoritettiin teoreettisena vertailuna, koska tässä tapauksessa ei ole määritelty rakennuksen sijaintia. Näin ollen ei tiedetty esimerkiksi kaivumaiden kuljetusmatkaa yms. Kustannusten tarkempi laskenta on esitetty liitteissä 1-5.

Rakennettavan tontin oletettiin olevan pinnaltaan tasainen.

Rakennus toteutetaan viidellä kantavalla perustuslinjalla. Kustannusten selvittämisessä käytettiin apuna mm. toteutettujen kohteiden kustannuksia. Apuna käytettiin myös maanrakennusalan ammattilaisten antamia kustannustietoja. Rakennusmateriaalien hinnat ovat K-Raudan hintoja.

3.2 Tulokset

3.2.1 Tasauserroksen päälle tehtävät perustukset

Perustuksen korkeus 250 mm

Maanrakennustöiden hinnaksi saatiin **3 542,5 euroa**. Neliö hinnaksi saatiin siis **7,97 euroa/m²**.

(Hinta sisältää konetyön ja sorakuljetuksen). /3/

Routaeristyksen ja salaojituksen hinnaksi saatiin yhteensä
7 327,5 euroa. Neliöhinnaksi saatiin siis **16,48 euroa/m²**.

Sokkelielementteinä käytettävien teräsbetonisten lyöntipaalujen (250 mm*250 mm) hinnaksi asennettuna saatiin **9 725 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **21,87 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin töineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Loppusummaksi saatiin arvonlisäverottomana **25 595 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **57,57 euroa/m²**. (liite 1)

Perustuksen korkeus 500 mm

Maanrakennustöiden hinnaksi saatiin **6 540 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **14,71 euroa/m²**.

(Hinta sisältää konetyön ja sorakuljetuksen). /3/

Routaeristyksen ja salaojituksen hinnaksi saatiin yhteensä
7 327,5 euroa. Neliöhinnaksi saatiin siis **16,48 euroa/m²**.

Sokkelielementteinä käytettävien teräsbetonisten lyöntipaalujen (250mm*250mm, 2 kerrosta) hinnaksi asennettuna saatiin **19 450 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **43,75 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin töineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Loppusummaksi saatiin arvonlisäverottomana **38 318 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **86,18 euroa/m²**. (liite 2)

3.2.2 Yksittäisanturat ja sokkelielementit

Tässä perustamistavassa laskettiin maankaivutyöt alan ammattilaiselta saadun hintatiedon mukaan.

Maankaivuun sisältyy rakennusalan tasokaivu n.1m:n syvyyteen, salaojitus sekä täytöt kiviaineksineen.

Tähän saatu kustannus on 50 euroa/m².

ParmaParel C8P30-sokkelielementit

Maankaivun osuus (routaeristykset lisättynä) on **29 264,5 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **65,82 euroa/m²**.

Sokkelielementtien hinta saatiin Parma Oy:ltä. Hintaan sisältyy rahti ja arvonlisävero. Arvonlisäveroton hinta on siis $80-80 \cdot 22/122 = 65$ euroa/jm. Paikalleen nosto nosturitöineen 125 euroa/kpl.

Perustuselementtien osuus asennuksineen on **34 380 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **77,33 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin töineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Loppusummaksi saatiin arvonlisäverottomana **68 645 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **154,40 euroa/m²**. (liite 3)

Teräsbetonielementit 240 mm*240 mm

Maankaivun osuus (routaeristykset lisättynä) on **29 264,5 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **65,82 euroa/m²**.

Sokkelielementtien hinta on 40 euroa/m. Paikalleen nosto nosturitöineen 125 euroa/kpl.

Perustuselementtien osuus asennuksineen on **29 305 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **65,91 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin töineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Loppusummaksi saatiin arvonlisäverottomana **63 570 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **142,98 euroa/m²**. (liite 4)

3.2.3 Paikallavaletut perustukset

Koulun perustuksista annettu urakkatarjous paikallavalettuina perustuksina oli **79 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **177,69 euroa/m²**.

3.2.4 Paalutettava maaperä (Rautaruukin RR- teräspäristys)

Tässä perustamistyylissä kustannukset saatiin erään koulun perustusurakasta.

Tässä tapauksessa ei tehty salaojitusta eikä routasuojaa.

Maankaivun osuus on **15 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **33,74 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin töineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Paalutusurakan osuus on **46 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **103,46 euroa/m²**.

Kokonaishinnaksi saatiin **66 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **148,5 euroa/m²**.

3.2.5 Ontelolaatat anturoina perustuspalkkien alla

Maanrakennustöiden hinnaksi saatiin **4 642,5 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **10,44 euroa/m²**.

(Hinta sisältää konetyön ja sorakuljetuksen). /3/

Routaeristyksen ja salaojituksen hinnaksi saatiin yhteensä **7 327,5 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **16,48 euroa/m²**.

Perustuselementtien (ontelolaatat+ParmaParel- sokkelielementit) osuus asennuksineen on **26 380 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **59,33 euroa/m²**.

Kunnallistekniikan hinnaksi saatiin toineen ja tarvikkeineen **5 000 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **11,25 euroa/m²**.

Loppusummaksi saatiin arvonlisäverottomana **43 351 euroa**. Neliöhinnaksi saatiin siis **97,5 euroa/m²**. (liite 5)

Kaikkien perustusratkaisujen tulokset esitetään vertailutaulukossa (taulukko 2).

Taulukko 2. Eri perustustapausten kustannukset eriteltynä (euroa/m²).

	Maarak.+salaoj euroa/m ²	Routas. euroa/m ²	Kunn.tekn euroa/m ²	Per.elem. euroa/m ²	Yht. euroa/m ²
Tasauskerros					
sokkelin korkeus 250mm (tasaus 0,5m)	12,04	12,4	11,25	21,87	57,56
sokkelin korkeus 500mm (tasaus 1m)	18,79	12,4	11,25	43,75	86,19
Yks. anturat+ sokkelielem.					
ParmaParelC8P30	53,42	12,4	11,25	77,33	154,4
Teräsbet.sokk. 240x600	53,42	12,4	11,25	65,91	142,98
Paikallavaaletut perustukset					177,69
Rautaruukin RR-teräasperustus(ei salaoj.)	33,74		11,25	103,46	148,45
Ontelolaatat anturoina+ParmaParel- sokk.	14,52	12,4	11,25	59,33	97,5

3.2.6 Neliömäärän vaikutus kustannuksiin

Kustannukset laskettiin kerrosalaltaan 444,6 m²:n suuruisen kohteen pohjalta. Neliöhintoihin vaikuttaa kohteen suuruus eli neliömäärän noustessa työmaan perustamiskustannukset, tarvikkeiden hinnat, nosturikulut ym. kustannukset

neliötä kohti pienenevät ja vastaavasti neliömäärän laskiessa kustannukset neliötä kohti suurenevat.

Näihin muutoksiin tietoa saatiin rakennusalan ammattilaiselta.

Kustannusten muutokset voidaan laskea seuraavien kertoimien avulla:

- 200 m² => kerroin **1,1**
- 500 m² => kerroin **1,0**
- 1000 m² => kerroin **0,9**

3.2.7 Yhteenveto

Selvästi edullisin perusratkaisu on sorakentälle tehtävän tasauserroksen päälle tehtävät perustukset. Tämä perustamisratkaisu vaatii kuitenkin valmiiksi kantavan rakennuspohjan, yleensä se on esimerkiksi koulun pihalle rakennettu sorakenttä tms.

Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollinen perusratkaisu, joten joudutaan käyttämään muita tarkasteltuja perusratkaisuja.

Hinnat on laskettu keväällä 2006, joten hintatietoja on päivitettävä ajankohdan muuttuessa.

4 PAINUMATARKASTELU

4.1 Yleistä

Maapohjaa kuormitettaessa siinä tapahtuu aina jonkinasteisia muodonmuutoksia. Ne ilmenevät maapohjan varaan tehtyjen perustusten ja näin ollen myös rakenteiden painumisina.

Maakerroksen kokoonpuristumisen lajeja on kolme:

- kimmainen kokoonpuristuminen
- plastinen kokoonpuristuminen
- konsolidaation aiheuttama kokoonpuristuminen. /4/

Maakerrosten painuman suuruuteen ja laatuun vaikuttavat maakerrosten laatu, kuormituksen suuruus sekä maakerrosten paksuus kuormitetun alueen laajuuteen verrattuna. /4/

”Perustukset on suunniteltava siten, etteivät perustusten painumaerojen aikaansaamat muodonmuutokset aiheuta rakenteisiin haitallisia jännityksiä. Rakennusten ja rakenteiden kokonaispainumat ja kallistumat on liittyvien rakenteiden, putkijohtojen, työskentely- tai asumismukavuuden, terveellisyyden ja ulkonäköseikkojen takia rajoitettava kohtuullisiksi.” /5/

4.2 Raja-arvot

Perustusten painumille ja vierekkäisten perustusten epätasaisille painumille tai laattaperustuksen taipumisesta aiheutuville kulmakiertymille on annettu raja-arvoja. Nämä arvot esitetään taulukossa 3.

Taulukon arvot ovat tavanomaisille rakennuksille, eivätkä päde rakennuksissa, joille annetaan erityisiä vaatimuksia, esim. rakennuksen vaipan tiiveysvaatimukset. /5/

Taulukko 3. Rakennusten kokonaispainumien ja kantavien rakenteiden kulmakiertymien suuntaa-antavia raja-arvoja. /5/

<u>Rakennetyyppi</u>	<u>Kokonaispainuman raja-arvoja (mm)</u>	<u>Kulmakiertymät</u> Moreeni tai kearakeinen maapohja	<u>Kulmakiertymät</u> Hienorakeinen maapohja
Massiiviset jäykät rakenteet	100	1/250-1/200	1/250-1/200
Staattisesti määrätyt rakenteet	100	1/400-1/300	1/300-1/200
Staattisesti määräämättömät rakenteet			
- Puurakenteet	100	1/400-1/300	1/300-1/200
- Teräsrakenteet	80	1/500-1/200	1/500-1/200
- Muuratut rakenteet	40	1/1000-1/600	1/800-1/400
- Teräsbetonirakenteet	60	1/1000-1/500	1/700-1/350
- Teräsbetonielementtirakenteet	40	1/1200-1/700	1/1000-1/500
- Teräsbetonikehärakenteet	30	1/2000-1/1000	1/1500-1/700

4.3 Painumalaskennan perusteita

Teoria

Maanvaraisen rakenteen painuma koostuu neljästä painumalajista seuraavan kaavan mukaisesti:

$$S = S_i + S_k + S_\gamma + S_s \quad , /4/ \text{ jossa}$$

S = kokonaispainuma

S_i = alkupainuma

S_k = konsolidaatiopainuma

S_γ = sivusiirtymistä johtuva painuma

S_s = jälkipainuma.

Edellä mainituista painumalajeista ovat vähämerkityksellisiä sivusiirtymisistä johtuva painuma sekä jälkipainuma. Alkupainuma tapahtuu normaalisti jo rakennusaikana. /4/ Tilaelementtirakentamisen nopeudesta johtuen se on kuitenkin syytä tässä tapauksessa ottaa huomioon.

Konsolidaatiopainuman laskemiseen on käytössä ainakin kolme menetelmää:

- tangenttimoduulimenetelmä
- kokoonpuristuvuusindeksimenetelmä
- sekanttimoduulimenetelmä.

Tässä esitetään laskutapa sekanttimoduulimenetelmällä.

Tilaelementtirakentamisessa otetaan siis huomioon alkupainuma sekä konsolidaatiopainuma.

Laskennassa tarvitaan tieto ulkoisen kuormituksen luonnontilaisessa maakerrostumassa aiheuttamasta kokoonpuristuskäyttäytymisestä. Tutkimukset on siis suoritettava häiriintymättömällä maanäytteellä.

Kokoonpuristuvuusominaisuuksia tutkitaan yleensä ödometri-nimisellä laitteella.

Alkupainuma

Suorakaiteen muotoisen laatan painuma keskimäärin voidaan laskea kaavalla:

$$S_i = \mu_0 * \mu_1 * \frac{q * B}{E} \quad , \text{ jossa}$$

q = maapohjalle tuleva tasainen pohjapaine

B = peruslaatan leveys

E = painuvan maakerroksen keskimääräinen kimmomoduuli
 (saadaan pohjatutkimuksista)

μ_0 = perustuksen muodosta ja perustamissyvyydestä riippuva kerroin (liite 9)

μ_1 = painuvan maakerroksen paksuudesta ja perustuksen muodosta riippuva kerroin (liite 9).

Konsolidaatiopainuma sekanttimoduulimenetelmällä

Sekanttimoduulimenetelmässä rakenteen painuma määritetään kokoonpuristuvuuskokeista saatavan sekanttimoduulin M_s avulla.

Konsolidaatiopainuma lasketaan kaavalla:

$$S_k = \epsilon * H \quad /4/$$

Jos maa on kerroksellinen, on vastaava kaava:

$$S_k = \sum_{i=1}^n \epsilon_i * H_i \quad , /4/ \text{ jossa}$$

ϵ_i = tunnetun jännityslisäyksen synnyttämä suhteellinen kokoonpuristuma kerroksessa i (saadaan tutkimusten avulla laskemalla kaa-

$$\text{valla } \epsilon = \sum \left(\frac{\Delta \delta_i}{M_s} \right) /4/$$

Kokonaispainuma

Painuman lopullinen suuruus S saadaan summaamalla alkupainuma S_i sekä konsolidaatiopainuma S_k kaavalla:

$$S = S_i + S_k$$

4.4 Alustava painumien laskenta

Tässä osassa arvioitiin painumia perustustavalla, jossa anturana käytetään ontelolaattoja. Tässä työssä laskettiin kokoonpuristuvuusindeksimenetelmällä konsolidaation aiheuttamaa kokoonpuristumaa eli tilannetta, jossa maan kokonaistilavuus pienenee johtuen maan huokostilavuuden pienenemisestä.

Kyseiset laskelmat ovat alustavia. Tarkemmat laskelmat on tehtävä, kun tiedetään maaperästä enemmän, eli kun on tehty riittävät pohjatutkimukset.

Konsolidaation aiheuttamaa kokoonpuristumista voidaan laskea kaavalla:

$$S_k = \epsilon * H = \frac{0,85 \sqrt{\frac{W}{100}} \lg\left(\frac{\delta_{vo} + \delta_z}{\delta_{vo}}\right)}{\frac{100}{w} + 2,65} * H \quad /4/, \text{ jossa}$$

w = maakerroksen vesipitoisuus prosentteina

δ_{vo} = maakerroksen esikuormitus eli maakerroksen oma paino

$\Delta\delta_z$ = kuormitettavan pinnan pituuden, leveyden, kerroksen syvyyden ja kuvasta 6 (liite 6) saatavan kertoimen avulla laskettu jännityksen lisäys

H = kerroksen korkeus.

Laskennassa maaperää kuormittava ala (tässä tapauksessa ontelolaatan osa joka siirtää kuormat ulkoseinälinjalta) jaetaan neljään yhtä suureen osaan, ja painuma lasketaan tällaisen osan nurkkapisteessä. Laatan oletetaan olevan taipuisa.

Tässä työssä tarkasteltiin ontelolaattojen käyttöä anturoina perustuspaikkien alla huonosti kantavalla maaperällä.

Saven pintaa tasataan hieman, asennetaan routasuojauslevyt ja päälle tasataan 300 mm:n paksuinen tasauskerros karkeasta maalajista.

Tarkoituksena oli selvittää, onko kyseinen perustamistapa mahdollinen painumien osalta.

Ontelolaatat ajateltiin sijoitettavaksi 4 m:n välein perustuspalkkien alle poikittain palkkeihin nähden. Laskelmissa tarkasteltiin maaperänä savea, joka olisi normaalisti paalutettava. Saven tilavuuspainona pohjavesipinnan yläpuolella käytettiin 17 kN/m^3 , ja pohjavesipinnan alapuolella 8 kN/m^3 .

Maaperää kuormittavana kuormana käytettiin ulkoseinältä välittyviä kuormia sekä 300 mm:n tasauserrosta, jonka tilavuuspaino on 20 kN/m^3 . Nämä metrikuormat jaettiin sille ontelolaatan osalle, joka välittää ne maaperään. Tästä saatiin pintakuorma neliötä kohti sekä maaperää rasittavan osan pinta-ala. Vaihtelemalla saven vesipitoisuutta ja kerrosten paksuutta laskettiin painumia. Näiden tulosten perusteella arvioitiin, onko kyseinen perustamistapa mahdollinen.

Laskelmat on esitetty liitteissä 7 ja 8.

4.5 Painumalaskujen tuloksia

Savikko ilman kuivakuorikerrosta

Painumalaskujen tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kokoonpuristumat eli painumat ilman kuivakuorikerrosta.

Kokoonpuristuvan kerroksen syvyys (m)	Vesipitoisuus (%)	Painuma (m)
1	30	0,0819
1	40	0,1099
1,5	30	0,1046
1,5	29	0,1009
2	30	0,1228
2	25	0,1008
4	30	0,1366
4	22	0,0972

Savikko 1 m:n kuivakuorikerroksella

Painumalaskujen tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kokoonpuristumat eli painumat maaperässä, jonka pinnassa on 1 m:n painumaton kuivakuorikerros.

Kokoonpuristuvan kerroksen syvyys (m)	Vesipitoisuus (%)	Painuma (m)
2	30	0,0232
2	95	0,0666
4	30	0,0261
4	95	0,0752
8	30	0,0286
8	95	0,0823
20	30	0,0316
20	95	0,0871

4.6 Yhteenveto

Painumatarkastelut osoittavat, että jos rakennuspaikalla on 1m:n kuivakuorikerros ja saven kuivatilavuuspaino on 17 kN/m^3 ja tilavuuspaino pohjavesipinnan alapuolella on 8 kN/m^3 , kokoonpuristuvan savikerroksen syvyyden lisääntyminen vaikuttaa vähäisesti savikerroksen kokoonpuristumaan johtuen kerroksen syvyyden suhteesta anturan leveyteen. Painumat pysyvät sallituissa rajoissa ainakin 20 m:n syvyiseen savikerrokseen saakka. On huomioitava, että kuivakuorikerroksen rikkominen heikentää maaperän kantavuutta, joten kerroksen kaivu tulisi minimoida.

Tehtyjen painumalaskujen perusteella ilman kuivakuorikerrosta saven maksimikerrospaksuus on 1,0 m vesipitoisuuden ollessa 30 %.

Taulukoissa 2 ja 3 on myös muita suoritettuja laskelmia eri vesipitoisuuksilla ja kerrospaksuuksilla.

Näiden alustavien tarkastelujen perusteella kyseinen perustamisratkaisu on kehityskelpoinen, mikäli rakennuspaikan maaperä on tasalaatuinen ja maaperään kohdistuva pintakuorma neliötä kohti on sama jokaisella anturana käytettävällä ontelolaatalla. Näin painuma on tasaista.

Painumat on otettava huomioon käyttämällä joustavia ratkaisuja vesijohtojen, sähkökaapeleiden ja erityisesti viemäreiden liittämiseksi rakennukseen. Ennen kyseisen perustuksen rakentamista on rakennuspaikalla tehtävä pohjatutkimuksia maaperän laadun selvittämiseksi ja tehtävä painumalaskelmat näiden tietojen perusteella.

Ontelolaatat tulee jaotella siten, että jokaisen perustuslinjan alla on oma laatta. Näin laatta on yksiaukkoinen eikä jatkuva eli vetoteräksiä ei tarvita laatan yläosassa, joka lisäisi kustannuksia. /8/ Ontelolaatta on esijännitetty tuote, joten sen käytössä tulee aina huomioida laatan rikkoontumisvaara. Tämä tulee ottaa huomioon perustuksia suunnitellessa. Myöskin tulee huomioida, että jos vetoteräksset ovat normaalisti vain alapinnassa, ei yläpintaan saa kohdistua veto-erästä rakentamisvaiheessa eikä myöskään rakennuksen käytön aikana. On myös huolehdittava, että laatan ontelot eivät pääse täyttymään vedellä ja jäätyessään vaurioittamaan ontelolaatan rakennetta. Edellä mainittujen seikkojen takia olisi parempi käyttää ontelolaattojen tilalla umpinaisia molemmista pinoista raudoitettuja teräsbetoni-laattoja.

Ontelolaattojen päälle tehtävien perustusten hinnaksi saatiin maanrakennustöiden osalta 10,44 euroa/m², routaeristyksen ja salaojituksen osalta 16,48 euroa/m², perustuselementtien osalta 59,33 euroa/m² ja kunnallistekniikan osalta 11,25 euroa/m². Loppusummaksi saatiin 97,5 euroa/m². Tarkemmat laskelmat ovat liitteessä 5.

Tässä työssä tarkasteltavista perustustavoista ontelolaattaperustus on kustannuksiltaan kolmanneksi edullisin, joten mielestäni perustamisolosuhteiden sallimissa puitteissa tämä perustamistapa on varteenotettava vaihtoehto.

LÄHTEET

- /1/ Tarjouspyyntö ja RR-teräsperustusurakoitsijat [18.04.2006]
http://www.rautaruukki.com/rr_web/rr_icc.nsf/Documents/D4D8C471E8CC80DAC2256D47003F79C9?openDocument&lang=2:
- /2/ ParmaParel, Pientalon perustukset ja ontelolaatat, Suunnitteluohje
- /3/ Rakennuslehti, 16.3.2006
- /4/ Rantamäki, Jääskeläinen, Tammirinne. Geotekniikka. Otatieto. Helsinki 2004
- /5/ RIL 121-2004 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Pohjarakennusohjeet
- /6/ Suomen Teräsmaalutus Oy, Juhani Lehtonen. Puhelinkeskustelu
- /7/ [18.04.2006]
www.tilamarkkinat.fi
- /8/ Parma Oy, Suunnitteluosasto. Puhelinkeskustelu

TASAUSKERROKSEN PÄÄLLE TEHTÄVÄT PERUSTUKSET
(PERUSTUKSEN KORKEUS 250MM)

	m3	m2		euroa/m2/m3		yht. euroa	yht. euroa/m2
Maanrakennustyöt (kaivinkone + 2 tt)							
sorapatja (0,5m)	325			10,9		3 542,50	7,97
sis. konetyö+kulj.							

	kpl	jm	m2	euroa/m2/jm/kpl	tth yht.	euroa/tth	yht. euroa	yht. euroa/m2
Routaeristys 100mm (2 työntek.)								
3 päivää eli yht. 48tth			650	5,53	48	40	5 514,50	12,40
salaojat + asennus								
työ					16	40	640,00	1,44
putki		107		2			214,00	0,48
kaivot	7			25			175,00	0,39
kaivinkone kuskeineen					16	49	784,00	1,76
							7 327,50	16,48

	kpl	jm	tth yht.	euroa/kpl/jm	euroa/tth	yht.euroa	yht. euroa/m2
Perustuselementit							
sokkelielementit (lyöntipaalut)250*250		214		25		5 350,00	12,03
asennus nosturitöineen	35			125		4 375,00	9,84
						9 725,00	21,87

	yht.euroa	yht. euroa/m2
Kunnallistekniikka		
LVV	5000	11,25

VEROTON HINTA YHTEENSÄ

yht.euroa **yht. euroa/m2**
25 595 **57,57**

TASAUSKERROKSEN PÄÄLLE TEHTÄVÄT PERUSTUKSET
(PERUSTUKSEN KORKEUS 500MM)

	m3	m2		euroa/m2/m3		yht. euroa	yht. euroa/m2
Maanrakennustyöt (kaivinkone + 2 tt)							
sorapatja (1,0m)	600			10,9		6 540,00	14,71
sis. konetyö+kulj.							

	kpl	jm	m2	euroa/m2/jm/kpl	tth yht.	euroa/tth	yht. euroa	yht. euroa/m2
Routaeristys 100mm (2 työntek.)								
3 päivää eli yht. 48tth			650	5,53	48	40	5 514,50	12,40
salaojat + asennus								
työ					16	40	640,00	1,44
putki		107		2			214,00	0,48
kaivot	7			25			175,00	0,39
kaivinkone kuskeineen					16	49	784,00	1,76
							7 327,50	16,48

	kpl	jm	tth yht.	euroa/kpl/jm	euroa/tth	yht.euroa	yht. euroa/m2
Perustuselementit							
sokkelielementit (lyöntipaalut)250*250		428		25		10 700,00	24,07
asennus nosturitöineen	70			125		8 750,00	19,68
						19 450,00	43,75

	yht.euroa	yht. euroa/m2
Kunnallistekniikka		
LVV	5000	11,25

VEROTON HINTA YHTEENSÄ

yht.euroa
38 318

yht. euroa/m2
86,18

YKSITTÄISANTURAT+PARMAPAREL- SOKKELIELEMENTIT

	m2	euroa/m2		yht. euroa	yht. euroa/m2
Maanrakennustyöt (kaivinkone + 1 apumies)	475	50		23 750,00	53,42
tasokaivu n. 1m					
salaojat + asennus					
täytöt kiviaineksineen					

	m2	euroa/m2	tth yht.	euroa/tth		yht. euroa	yht. euroa/m2
Routaeristys 100mm (2 työntek.)	650	5,53	48	40		5 514,50	12,40
3 päivää eli yht. 48tth							

	kpl	jm	tth yht.	euroa/kpl/jm	euroa/tth	yht.euroa	yht. euroa/m2
Perustuselementit (3työntekijää)							
anturaelementit	40			240		9 600,00	
asennus nosturitöineen	40			125		5 000,00	
sokkelielementit (ParmaParel)		203		65		13 195,00	
asennus nosturitöineen	30			125		3 750,00	
juotokset			48		40	1 920,00	
sokkelielementit (lyöntipaalut)		11,6		25		290,00	
asennus nosturitöineen	5			125		625,00	
					yht.	34 380,00	77,33

	yht.euroa	yht. euroa/m2
Kunnallistekniikka		
LVV	5000	11,25

VEROTON HINTA YHTEENSÄ

yht.euroa **yht. euroa/m2**
68 645 **154,40**

YKSITTÄISANTURAT+TERÄSBETONISOKKELIELEMENTIT

	m2	euroa/m2		yht. euroa	yht. euroa/m2
Maanrakennustyöt (kaivinkone + 1 apumies)	475	50		23 750,00	53,42
tasokaivu n. 1m					
salaojat + asennus					
täytöt kiviaineksineen					

	m2	euroa/m2	tth yht.	euroa/tth		yht. euroa	yht. euroa/m2
Routaeristys 100mm (2 työntek.)	650	5,53	48	40		5 514,50	12,40
3 päivää eli yht. 48tth							

	kpl	jm	tth yht.	euroa/kpl/jm	euroa/tth	yht.euroa	yht. euroa/m2
Perustuselementit (3työntekijää)							
anturaelementit	40			240		9 600,00	
asennus nosturitöineen	40			125		5 000,00	
sokkelielementit teräsbetoni 240*600		203		40		8 120,00	
asennus nosturitöineen	30			125		3 750,00	
juotokset			48		40	1 920,00	
sokkelielementit (lyöntipaalut)		11,6		25		290,00	
asennus nosturitöineen	5			125		625,00	
					yht.	29 305,00	65,91

	yht.euroa	yht. euroa/m2
Kunnallistekniikka		
LVV	5000	11,25

VEROTON HINTA YHTEENSÄ

yht.euroa yht. euroa/m2
63 570 142,98

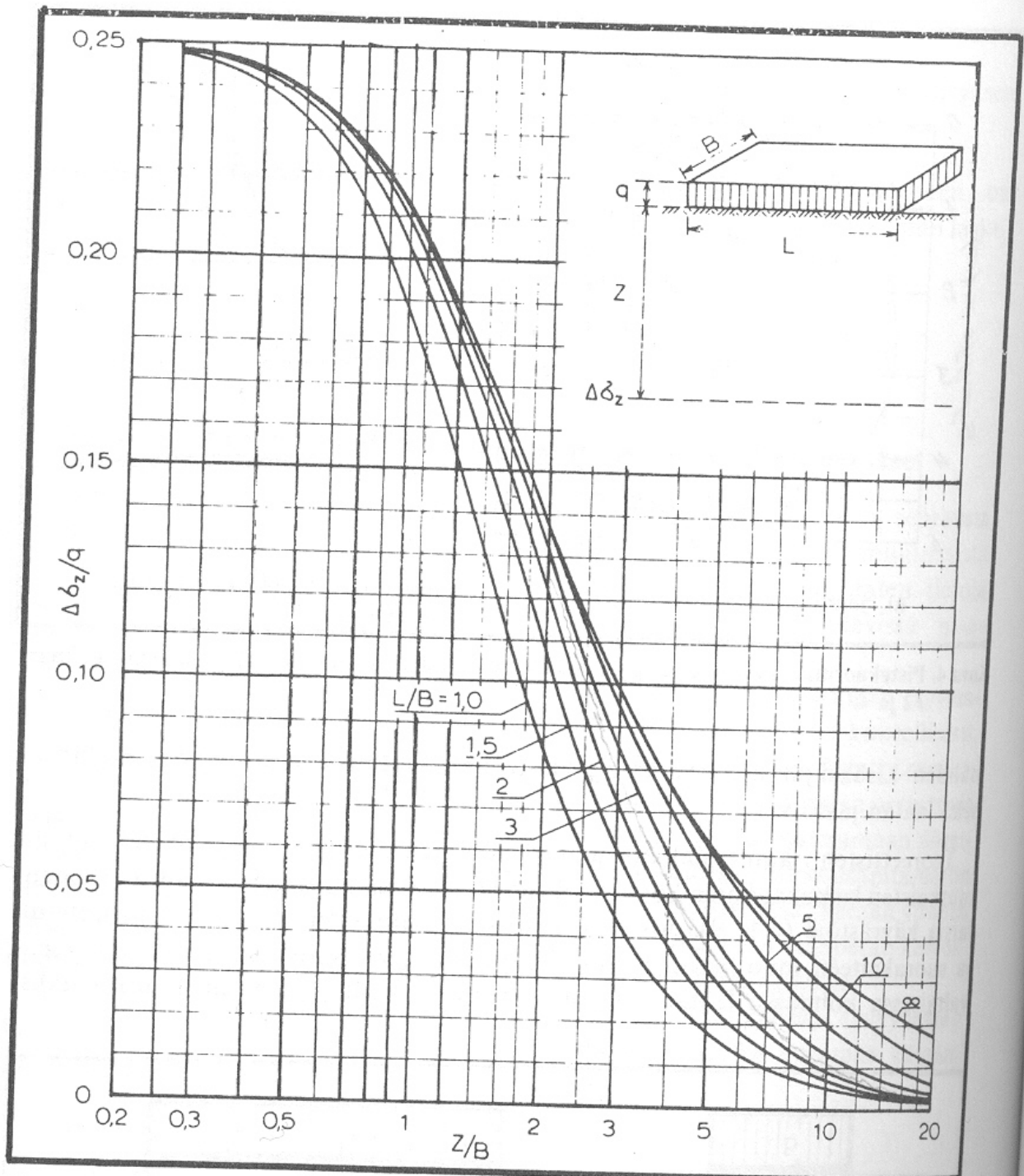
ONTELOLAATAT+PERUSTUSPALKIT

	kpl	jm	m2/m3	euroa/m2/m3/jm/kpl	tth yht.	euroa/tth	yht. euroa	yht. euroa/m2
Maanrakennustyöt								
saven pinnan tasaus 475m2					8	49	392,00	0,88
routaeristys 100mm			650	5,53	48	40	5 514,50	12,40
tasauskerros 300mm			195	10,9			2 125,50	4,78
täyttö 300mm			195	10,9			2 125,50	4,78
							10 157,50	22,85
Perustuselementit								
ontelolaatat			130	37			4 810,00	10,82
asennus nosturitöineen	12			125			1 500,00	3,37
sokkelielementit (ParmaParel)		203		65			13 195,00	29,68
asennus nosturitöineen	55			125			6 875,00	15,46
							26 380,00	59,33
salaojat + asennus								
työ					16	40	640,00	1,44
putki		107		2			214,00	0,48
kaivot	7			25			175,00	0,39
kaivinkone kuskeineen					16	49	784,00	1,76
							1 813,00	4,08
Kunnallistekniikka								
LVV							5000	11,25

VEROTON HINTA YHTEENSÄ

yht.euroa
43 351

yht. euroa/m2
97,50



Kuva 6. Pystysuoran jännitysliisäyksen jakautuminen taipuisan laatan nurkkapisteen alapuolella /14/

Cc-PAINUMALASKU

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 1M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-1m
 - keskipisteet 0,5m

Esikuormitus: savi 1: 4kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	0,833333	35kN/m ²

H 1m
 w **30%**
 kuorma 41kN/m²
 z 0,5m
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	1m	4kN/m ²	35kN/m ²	39kN/m ²	1,053078	0,08	0,08194m

0,08194m**Cc-PAINUMALASKU**

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 1M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-1m
 - keskipisteet 0,5m

Esikuormitus: savi 1: 4kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	0,833333	35kN/m ²

H 1m
 w **40%**
 kuorma 41kN/m²
 z 0,5m
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	1m	4kN/m ²	35kN/m ²	39kN/m ²	1,053078	0,10	0,10993m

0,10993m

Cc-PAINUMALASKU

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 1,5M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-1,5m
 - keskipisteet 0,75m

Esikuormitus: savi 1: 6kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,25	29kN/m ²

H 1,5m
 w **30%**
 kuorma 41kN/m²
 z 0,5m
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	1,5m	6kN/m ²	29kN/m ²	35kN/m ²	0,895791	0,08	0,10455m

0,10455m**Cc-PAINUMALASKU**

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 1,5M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-1,5m
 - keskipisteet 0,75m

Esikuormitus: savi 1: 6kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,25	29kN/m ²

H 1,5m
 w **29%**
 kuorma 41kN/m²
 z 0,5m
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	1,5m	6kN/m ²	29kN/m ²	35kN/m ²	0,895791	0,08	0,10086m

0,10086m

Cc-PAINUMALASKU

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 2M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-2m
 - keskipisteet 1m

Esikuormitus: savi 1: 8kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,666667	24kN/m ²

H 2m
 w 30%
 kuorma 41kN/m²
 z 1m
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	2m	8kN/m ²	24kN/m ²	32kN/m ²	0,788875	0,08	0,12277m

0,12277m

Cc-PAINUMALASKU

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 2M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-2m
 - keskipisteet 1m

Esikuormitus: savi 1: 8kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,666667	24kN/m ²

H 2m
 w 25%
 kuorma 41kN/m²
 z 1m
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	2m	8kN/m ²	24kN/m ²	32kN/m ²	0,788875	0,06	0,10083m

0,10083m

Cc-PAINUMALASKU

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 4M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-2 ja 2-4m
 - keskipisteet 1m 3m

Esikuormitus: savi 1: 8kN/m²
 savi 2: 24kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,666667	24kN/m ²
1,95	5	5,4kN/m ²

H 4m
 w 30%
 kuorma 41kN/m²
 z 1m
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	2m	8kN/m ²	24kN/m ²	32kN/m ²	0,788875	0,08	0,12277m
2	2m	24kN/m ²	5,4kN/m ²	29kN/m ²	0,088703	0,08	0,0138m

0,13657m**Cc-PAINUMALASKU**

(EI KUIVAKUORIKERROSTA, SAVEA 4M)

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³

Jaetaan maa kerroksiin 0-2 ja 2-4m
 - keskipisteet 1m 3m

Esikuormitus: savi 1: 8kN/m²
 savi 2: 24kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	1,666667	24kN/m ²
1,95	5	5,4kN/m ²

H 4m
 w 22%
 kuorma 41kN/m²
 z 1m
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
1	2m	8kN/m ²	24kN/m ²	32kN/m ²	0,788875	0,06	0,08742m
2	2m	24kN/m ²	5,4kN/m ²	29kN/m ²	0,088703	0,06	0,00983m

0,09725m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 2m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin 0-1 ja 1-3m
 - keskipisteet 0,5m 2m

Esikuormitus:savi 2: 25kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	3,333333	10kN/m ²

w **30%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	10kN/m ²	35kN/m ²	0,14882	0,08	0,02316m
							0,02316m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 2m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin 0-1 ja 1-3m
 - keskipisteet 0,5m 2m

Esikuormitus:savi 2: 25kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	3,333333	10kN/m ²

w **95%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L 1,17m

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	10kN/m ²	35kN/m ²	0,14882	0,22	0,0666m
							0,0666m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 4m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin
 - keskipisteet

0-1m	1-3m	3-5m
0,5m	2m	4m

Esikuormitus:

savi 2: 25kN/m²
 savi 3: 41kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	3,333333	9,1kN/m ²
1,95	6,666667	3,3kN/m ²

w **30%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,08	0,02091m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,08	0,00523m

0,02613m**Cc-PAINUMALASKU****(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 4m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin
 - keskipisteet

0-1m	1-3m	3-5m
0,5m	2m	4m

Esikuormitus:

savi 2: 25kN/m²
 savi 3: 41kN/m²

L/B	z/B	jänn. lis.
1,95	3,333333	9,1kN/m ²
1,95	6,666667	3,3kN/m ²

w **95%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L **1,17m**

krs	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,22	0,06013m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,22	0,01503m

0,07515m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 8m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin
 - keskipisteet

0-1m	1-3m	3-5m	5-7m	7-9m
0,5m	2m	4m	6m	8m

Esikuormitus:	savi 2:	25kN/m ²	L/B	z/B	jänn. lis.
	savi 3:	41kN/m ²	1,95	3,333333	9,1kN/m ²
	savi 4:	57kN/m ²	1,95	6,666667	3,3kN/m ²
	savi 5:	73kN/m ²	1,95	10	1,5kN/m ²
			1,95	13,33333	0,8kN/m ²

w **30%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L **1,17m**

kr	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,08	0,02091m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,08	0,00523m
4	2m	57kN/m ²	1,5kN/m ²	58kN/m ²	0,011156	0,08	0,00174m
5	2m	73kN/m ²	0,8kN/m ²	74kN/m ²	0,004875	0,08	0,00076m

0,02863m**Cc-PAINUMALASKU****(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 8m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuole 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

Jaetaan maa kerroksiin
 - keskipisteet

0-1m	1-3m	3-5m	5-7m	7-9m
0,5m	2m	4m	6m	8m

Esikuormitus:	savi 2:	25kN/m ²	L/B	z/B	jänn. lis.
	savi 3:	41kN/m ²	1,95	3,333333	9,1kN/m ²
	savi 4:	57kN/m ²	1,95	6,666667	3,3kN/m ²
	savi 5:	73kN/m ²	1,95	10	1,5kN/m ²
			1,95	13,33333	0,8kN/m ²

w **95%**
 kuorma 41kN/m²
 B 0,6m
 L **1,17m**

kr	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,22	0,06013m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,22	0,01503m
4	2m	57kN/m ²	1,5kN/m ²	58kN/m ²	0,011156	0,22	0,00499m
5	2m	73kN/m ²	0,8kN/m ²	74kN/m ²	0,004875	0,22	0,00218m

0,08233m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 20m)**

kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuolelta 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

	0-1m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jaetaan maa kerroksiin	0-1m	1-3m	3-5m	5-7m	7-9m	9-11m	11-13m	13-15m	15-17m	17-19m	19-21m
- keskipisteet	0,5m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m

Esikuormitus:			L/B	z/B	jänn. lis.
savi 2:	25kN/m ²	1,95	3,333333	9,1kN/m ²	
savi 3:	41kN/m ²	1,95	6,666667	3,3kN/m ²	
savi 4:	57kN/m ²	1,95	10	1,5kN/m ²	
savi 5:	73kN/m ²	1,95	13,333333	0,8kN/m ²	
savi 6:	75kN/m ²	1,95	16,666667	0,5kN/m ²	
savi 7:	77kN/m ²	1,95	20	0,5kN/m ²	
savi 8:	79kN/m ²	1,95	23,333333	0,5kN/m ²	
savi 9:	81kN/m ²	1,95	26,666667	0,5kN/m ²	
savi 10:	83kN/m ²	1,95	30	0,5kN/m ²	
savi 11:	85kN/m ²	1,95	33,333333	0,5kN/m ²	

w	30%
kuorma	41kN/m ²
B	0,6m
L	1,17m

kr	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,08	0,02091m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,08	0,00523m
4	2m	57kN/m ²	1,5kN/m ²	58kN/m ²	0,011156	0,08	0,00174m
5	2m	73kN/m ²	0,8kN/m ²	74kN/m ²	0,004875	0,08	0,00076m
6	2m	75kN/m ²	0,5kN/m ²	75kN/m ²	0,002853	0,09	0,00052m
7	2m	77kN/m ²	0,5kN/m ²	77kN/m ²	0,00278	0,09	0,00051m
8	2m	79kN/m ²	0,5kN/m ²	79kN/m ²	0,002709	0,09	0,00049m
9	2m	81kN/m ²	0,5kN/m ²	81kN/m ²	0,002643	0,09	0,00048m
10	2m	83kN/m ²	0,5kN/m ²	83kN/m ²	0,002579	0,09	0,00047m
11	2m	85kN/m ²	0,5kN/m ²	85kN/m ²	0,002519	0,09	0,00046m
							0,03156m

Cc-PAINUMALASKU**(PAINUMATON Kuivakuorikerros 1m + painuvaa savea 20m)**

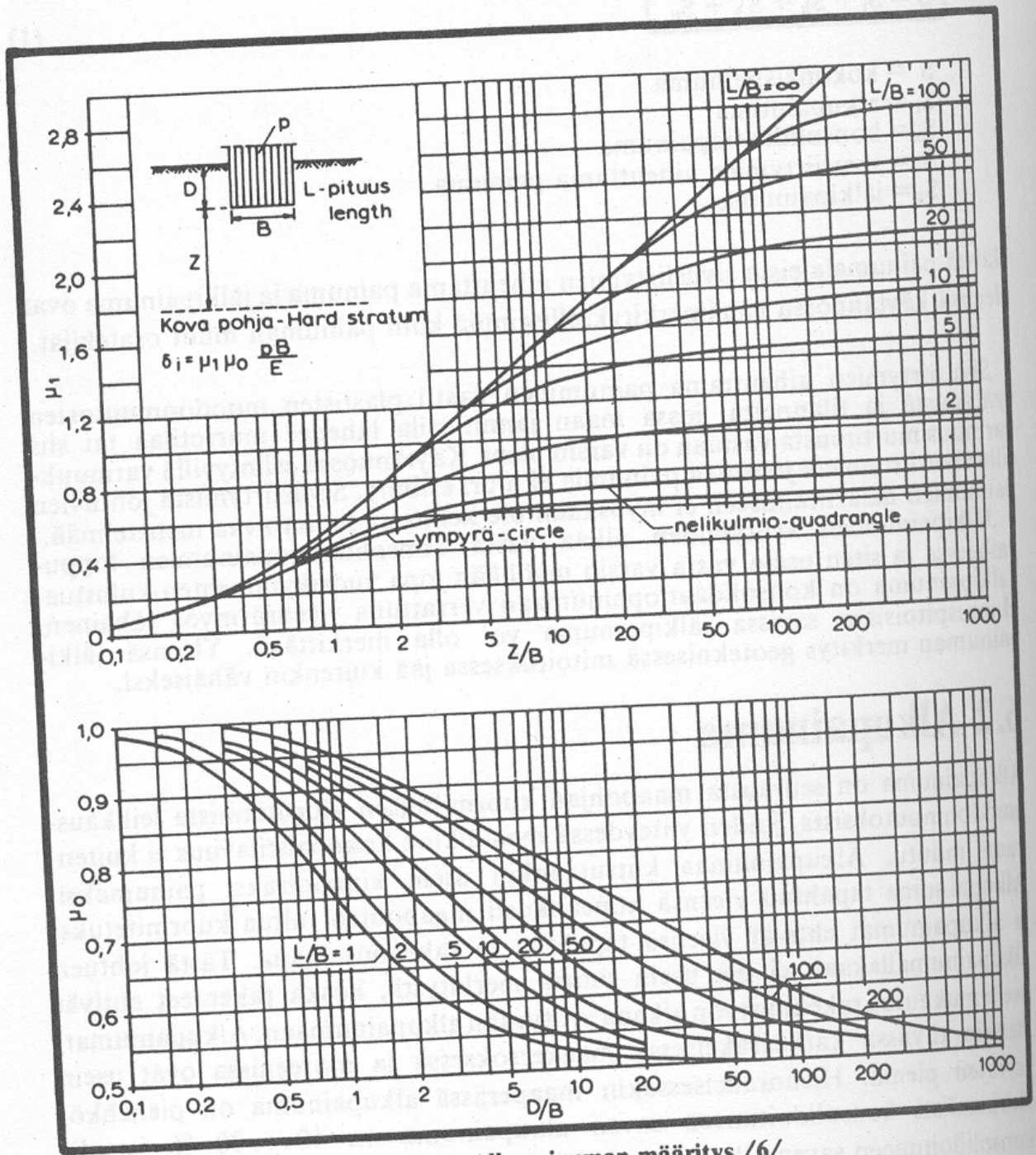
kuivatilavuuspaino 17kN/m³
 til.paino pvp:n alapuolelta 8kN/m³
 kuivakuorikerros 1m

	0-1m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jaetaan maa kerroksiin	0-1m	1-3m	3-5m	5-7m	7-9m	9-11m	11-13m	13-15m	15-17m	17-19m	19-21m
- keskipisteet	0,5m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m

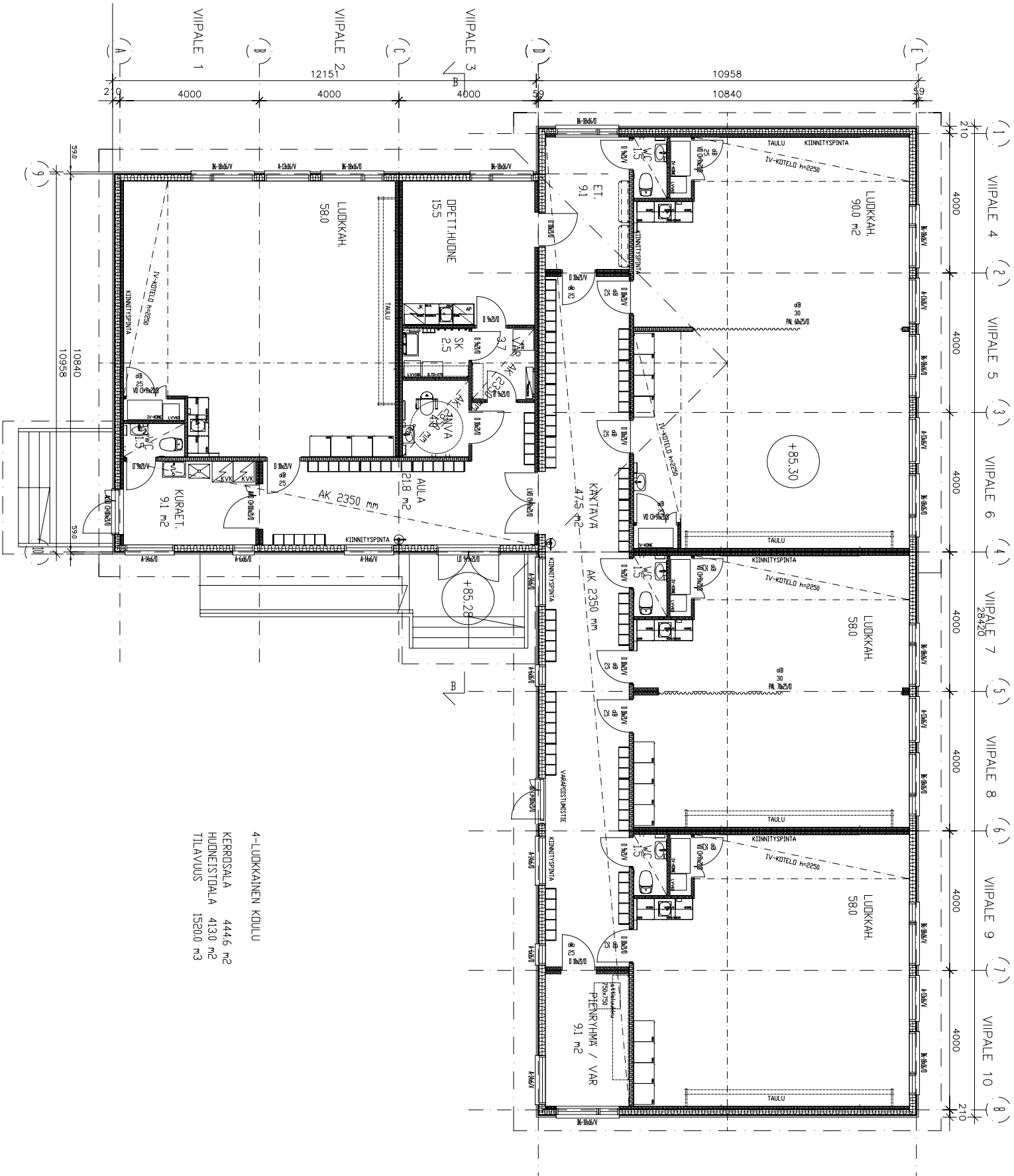
Esikuormitus:			L/B	z/B	jänn. lis.
savi 2:	25kN/m ²	1,95	3,333333	9,1kN/m ²	
savi 3:	41kN/m ²	1,95	6,666667	3,3kN/m ²	
savi 4:	57kN/m ²	1,95	10	1,5kN/m ²	
savi 5:	73kN/m ²	1,95	13,333333	0,8kN/m ²	
savi 6:	75kN/m ²	1,95	16,666667	0,5kN/m ²	
savi 7:	77kN/m ²	1,95	20	0,5kN/m ²	
savi 8:	79kN/m ²	1,95	23,333333	0,5kN/m ²	
savi 9:	81kN/m ²	1,95	26,666667	0,5kN/m ²	
savi 10:	83kN/m ²	1,95	30	0,5kN/m ²	
savi 11:	85kN/m ²	1,95	33,333333	0,5kN/m ²	

w	95%
kuorma	41kN/m ²
B	0,6m
L	1,17m

kr	h	esik.	jänn.lis.	jänn. yht.	log	kerroin	painuma
2	2m	25kN/m ²	9,1kN/m ²	34kN/m ²	0,134356	0,22	0,06013m
3	2m	41kN/m ²	3,3kN/m ²	44kN/m ²	0,033581	0,22	0,01503m
4	2m	57kN/m ²	1,5kN/m ²	58kN/m ²	0,011156	0,22	0,00499m
5	2m	73kN/m ²	0,8kN/m ²	74kN/m ²	0,004875	0,22	0,00218m
6	2m	75kN/m ²	0,5kN/m ²	75kN/m ²	0,002853	0,15	0,00084m
7	2m	77kN/m ²	0,5kN/m ²	77kN/m ²	0,00278	0,15	0,00082m
8	2m	79kN/m ²	0,5kN/m ²	79kN/m ²	0,002709	0,15	0,0008m
9	2m	81kN/m ²	0,5kN/m ²	81kN/m ²	0,002643	0,15	0,00078m
10	2m	83kN/m ²	0,5kN/m ²	83kN/m ²	0,002579	0,15	0,00076m
11	2m	85kN/m ²	0,5kN/m ²	85kN/m ²	0,002519	0,15	0,00074m
							0,08707m

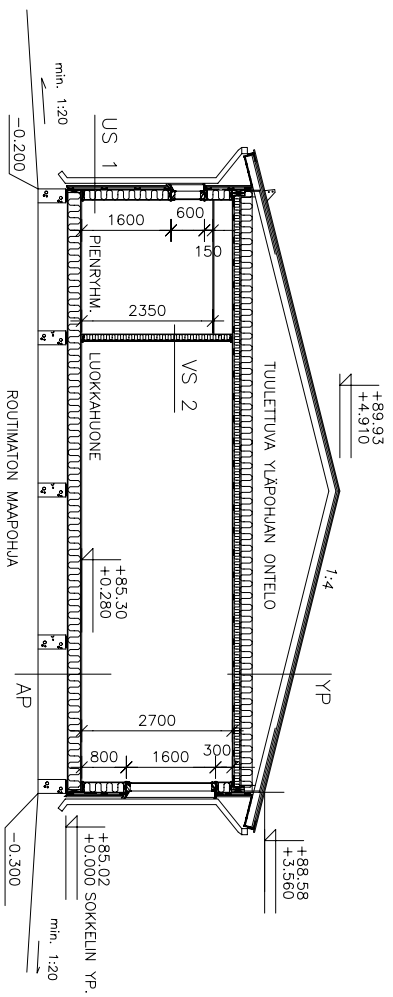


Kuva 1. Alkupainuman määrittäminen /6/

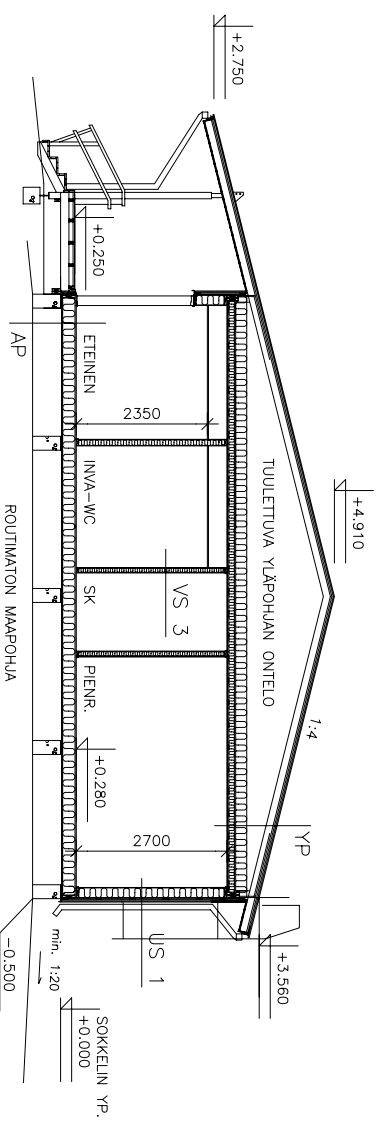


4-LUOKKAINEN KOULU

KERROSALA	444,6 m ²
HUONEISTOLA	413,0 m ²
TILAVUUS	15200 m ³



LEIKKAUS A - A



LEIKKAUS B - B

YLÄPOHJA (YP) $u \leq 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$

VESIKATE MUOVIPIN,PROFILIPELTI 20R-0.5

VESIKATTORUOTEET 25x100 k400 mm

ALUSKATERIMA 25x50 mm

ALUSKATE

MAULALEYRISTIKKO k1000

PUHALLUSVILLA + 225 mm

TUULENHUAIMET

ELEMENTIN JA RISTIKON VÄLISÄ N 20 mm PAINUMAVARA

GYPROC 13 mm

RUNKO 42x98 mm k600

MINERAALIVILLA 100 mm

HÖYRNUSUKUUVUOVI SFS 4225

KOOLAUS 23x120 k300 mm

PINNOITETTU REIKKIPSEILEY 13 mm

ULKOSEINÄ (US1) $u \leq 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$

SASMOX - PUUKIPSEILEY 10 mm

HÖYRNUSUKUUVUOVI SFS 4225

PYSTYRUNKO 42x173 mm

+ MINERAALIVILLA 175 mm

TUULENSUOJALEY 12 mm

VAAKAKOOLAUS 25x100 mm

LOMALAUDOITUS 21+21 mm

ULKOSEINÄ (US2) $u \leq 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$

SASMOX - PUUKIPSEILEY 10 mm

HÖYRNUSUKUUVUOVI SFS 4225

PYSTYRUNKO 42x173 mm

+ MINERAALIVILLA 175 mm

TUULENSUOJALEY 12 mm

VAAKAKOOLAUS 25x100 mm

LOMALAUDOITUS 21+21 mm

ULKOSEINÄ (US2) $u \leq 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$

SASMOX - PUUKIPSEILEY 10 mm

HÖYRNUSUKUUVUOVI SFS 4225

PYSTYRUNKO 42x173 mm

+ MINERAALIVILLA 175 mm

TUULENSUOJALEY 12 mm

VAAKAKOOLAUS 25x100 mm

PYSTYKOOLAUS 12 mm

VAAKAPANEELI 21 mm

ALAPOHJA (AP) $u \leq 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$

MUOVIMATTO

PONNATTU LASTULEY 22 mm

(KOSTEISSA TILOISSA VANERI)

LATTIAPALKIT 48x223 mm k400 mm

+ MINERAALIVILLA 225 mm

PUOLIKOVA KUTULEY 12 mm

SUOLAUDAUT 19x100 mm k400 mm

PAINEKYLLÄSTETTYÄ PUUTA

VÄLSEINÄ (VS1) 44 dB

(VIIPALEVÄLSEINÄ)

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

PUURUNKO 42x73 + MIN.VILLA 75 mm

KOVALEYY 3.2 mm

ILMARAKO 40 mm (elementtisauno)

KOVALEYY 3.2 mm

KOVALEYY 3.2 mm

PUURUNKO 42x73 + MIN.VILLA 75 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

VÄLSEINÄ (VS2) 44 dB

(KANTAVA SEINÄ)

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

PUURUNKO 42x98 mm k600 mm

+ MINERAALIVILLA 100 mm

GYPROC N 13 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

VÄLSEINÄ (VS3)

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

PUURUNKO 42 x 73 mm

+ MINERAALIVILLA 75 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

VÄLSEINÄ (VS4) 44 dB

(KANTAVA VIIPALEVÄLSEINÄ)

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

PUURUNKO 42x173 + MIN.VILLA 175 mm

KOVALEYY 3.2 mm

ILMARAKO 40 mm (elementtisauno)

KOVALEYY 3.2 mm

KOVALEYY 3.2 mm

PUURUNKO 42x73 + MIN.VILLA 75 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

VÄLSEINÄ (VS4) 44 dB

(KANTAVA VIIPALEVÄLSEINÄ)

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

PUURUNKO 42x73 + MIN.VILLA 75 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

KOVALEYY 3.2 mm

KOVALEYY 3.2 mm

PUURUNKO 42x73 + MIN.VILLA 75 mm

SASMOX-PUUKIPSEILEY 10 mm

IKKUNAT 3-LASISET MSEL/A, PUU-ALUMIINI

$u < 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

PERUSTUKSET ERILISSUUNNITELMAN MUKAAN

ROUTIMATTOMALLE JA KANTAVALLE MAARONJALLE.

ROUTIMATTOMALLE JA KANTAVALLE MAARONJALLE.

RAKENNUS KUUUU PALOLUOKKAN P3.

SEINIEN JA LATTIAN U-ARVOT KOMPENSOIDAAN

YLÄPOHJAN PAREMMALLA U-ARVOLLA.

RAKENNUS KUUUU PALOLUOKKAN P3.

SEINIEN JA LATTIAN U-ARVOT KOMPENSOIDAAN

YLÄPOHJAN PAREMMALLA U-ARVOLLA.