



Janne Iho

janne.iho@student.tut.fi

Op.nro 263061

Tampereen teknillinen yliopisto

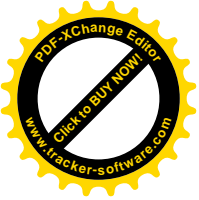
Rakennustekniikan laitos

RAK-23530 Perustusten vahvistaminen

Harjoitustyö, syksy 2018

Vastaanottaja: Mika Knuuti / huone RK314

Palautettu 24.11.2018



## Sisällysluettelo

- 1. Lähtötiedot**
  - 1.1. *Rakennuksen tiedot ja runkorakenteet*
  - 1.2. *Ympäristö ja olosuhteet*
    - 1.2.1. Olemassa olevat ympäröivät rakenteet
    - 1.2.2. Maanpinta ja pohjamaa
    - 1.2.3. Orsi- ja pohjavesi
    - 1.2.4. Hulevedet
  - 1.3. *Perustukset ja nykykunto, painumat ja syyt*
  - 1.4. *Seuranta nyt ja tulevaisuudessa*
  - 1.5. *Toimenpiteet ja aikataulu*
- 2. Perustusten vahvistaminen**
  - 2.1. *Vaihtoehtoiset ratkaisut*
  - 2.2. *Käytettävä perustusten vahvistusmenetelmä*
- 3. Perustusten kuormat**
  - 3.1. *Pysyvät kuormat*
  - 3.2. *Muuttuvat kuormat*
  - 3.3. *Kuormitustapaukset*
- 4. Perustusten ja kuormansiirtorakenteiden mitoitus**
  - 4.1. *Paalujen rakenteellinen kestävyys*
  - 4.2. *Paalujen kimmoinen kokoonpuristuma ja esijännitys*
  - 4.3. *Kuormansiirtorakenteen kestävyys*
    - Kohta 1
    - Kohta 2
    - Kohta 3
    - Kohta 4

### LIITTEET

1. *Paalukuormien laskenta, kohta 1*
2. *Paalukuormien laskenta, kohta 2*
3. *Paalukuormien laskenta, kohta 3*
4. *Paalukuormien laskenta, kohta 4*
5. *Betonoidun teräspalkkipaalun mitoitus, RD8/115 S440*
6. *Betonoidun teräspalkkipaalun mitoitus, RD8/140 S440*
7. *Perustusten suunnitelmapiiirustukset 1-4*
8. *Työselostus*

# 1. Lähtötiedot

## 1.1. Rakennuksen tiedot ja runkorakenteet

Turun keskustassa Linnankadun ja Brahenkadun risteyksessä sijaitsevassa rakennuksessa on havaittu rakenteiden epätasaisia painumia. Rakennus on valmistunut vuonna 1956 ja sen kantavat rakenteet ovat betonia. Rakennus muodostuu 8-kerroksisesta pitkästä asuinkerrostalosta sekä 1- ja 2-kerroksisista liiketiloista. Rakennuksessa on lisäksi kellarikerros. Tämän raportin ja laskentalitteiden tarkoitus on selvittää painumien todennäköisin aiheuttaja sekä perustusten korjaustoimenpiteet.

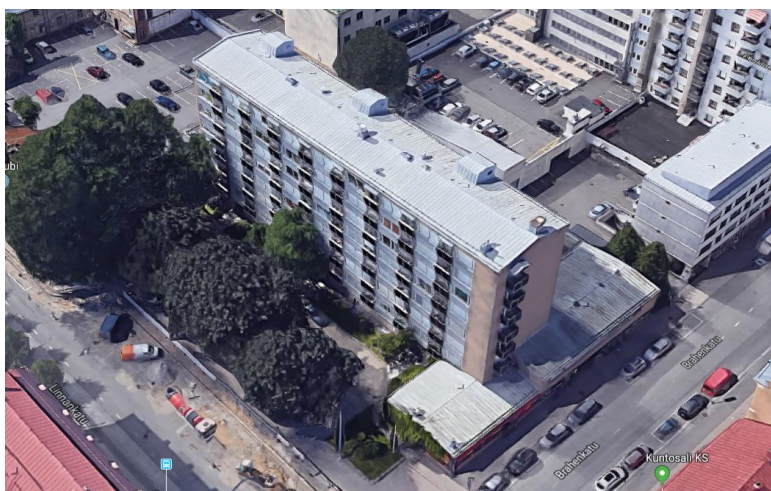
Asuinkerrostalon kantavana rakenteena toimii poikkisuuntaiset betoniseinät ja näiden alla puupaalutetut seinäanturat. Välipohjat ovat todennäköisesti ajalleen tyyppisiä paikallavalulaattoja, jotka poikkisuunnassa jäykistävät rakennuksen kantaviin seiiniin ja pituussuunnassa porrashuoneisiin. Välipohjien mieltäminen paikallavaletuiksi on rakennuksen kuormituksen kannalta turvallinen päätelmä verrattuna kevyemmän kuormituksen tuottaviin ontelolaattoihin.

Liiketilat ovat todennäköisesti mastopilarein jäykistettyjä toimistorakennuksia. Mastopilarit on perustettu puupaalujen varaan. Tätä oletusta voidaan pitää perustusten kuormitusten ja vahvistamisen kannalta varman puolella olevana.

Rakenteen jäykistyksen tunnistaminen on erittäin oleellista perustusten kuormien määrittämisen kannalta. Esimerkiksi liiketilojen mastopilarijäykistys ottaa vastaan rakenteisiin kohdistuvan tuulikuorman ja tästä aiheutuvan taivutusmomentin. Mikäli liiketilat on jäykistetty levyjäykistyksellä ei yksittäisille pilariperustuksille välity lainkaan taivutusmomenttia vaan perustukset voidaan mitoittaa pelkälle pystykuormalle eli toisin sanoen huomattavasti pienemmille paalukuormille.

Rakennuksen painumista on seurattu vuosina 2010-2017 vaaituksilla 14 rakenteisiin kiinnitettyssä pisteessä. Orsivedenpinnan tasoa on mitattu vuosina 2010...2017 useista mittausputkista rakennuksen alta.

Kaikki raportissa ja suunnitelmissa ilmoitetut korot ovat korkeusjärjestelmässä N2000.



Kuva 1: 3D-Ilmakuva rakennuksesta, Google Maps 2018

## 1.2. Ympäristö ja olosuhteet

### 1.2.1. Olemassa olevat ympäröivät rakenteet

Rakennus sijaitsee tiiviisti rakennetussa kaupunki- ja katuymäristössä. Linnankadun varrella ja rakennuksen sisäpihalla sijaitsee parkkipaikkoja. Brahen kadulla on kadunvarsipysäköinti rakennuksen edustalla. Kaduissa voidaan olettaa kulkevan paljon vesihuollon, sähkön ja kaukolämmön kaapeleita.

Katujen salaojituksen voidaan olettaa tehostuneen rakennuksen valmistumisen jälkeen varsinkin, kun huomioidaan yleiset kaduille sallitut routanousut, jotka voisivat muuten aiheuttaa kadun pinnan kaltevuusmuutoksia ja hulevesien virtaamisen sisälle kiinteistöihin.

Lähin rakennus on asuinkerrostalo, joka sijaitsee Brahenkadun varrella noin 10 metrin etäisyydellä.

### 1.2.2. Maanpinta ja pohjamaa

Maanpinta viettää Brahenkadun suunnassa etelään Linnankadun suuntaan. Linnankadulla maanpinta on likimäärin vaakatasossa.

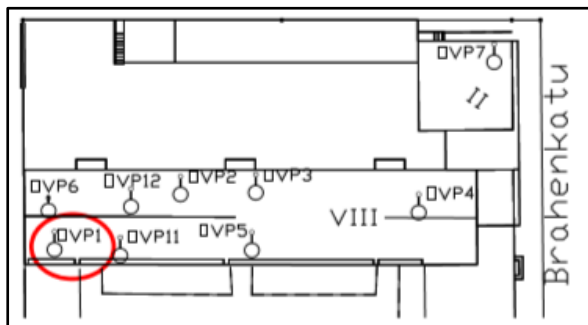
Rakennuksen pituussuunnassa on tehty kolmella eri linjalla porakonekairauksia. Pohjatutkimusten ajankohta ei ole tiedossa. Kallionpinta sijaitsee rakennuksen alla melko tasaisena korossa -25...-20. Kallion päällä on arvioitu olevan 1-3 metrin paksuinen pohjamaoreeni. Savikon paksuus on 25 metriä tasoilla -20...+5. Aivan pinnassa on noin 2...4 metriä paksu täytemaakerros.

Savikerroksen pinnassa suljetuksi leikkauslujuudeksi on pohjatutkijan lähtötiedoissa annettu  $c_u=16,5$  kPa. Leikkauslujuus kasvaa syvyyden mukaan 0,5 kPa. Tällöin savikerroksen pohjalla suljettu leikkauslujuus on noin  $c_u=27$  kPa.

### 1.2.3. Orsi- ja pohjavesi

Tarkoituksena on selvittää, onko pohjavedenpinnan vaihtelulla voinut olla vaikutusta rakennuksessa tapahtuneisiin epätasaisiin painumiin.

Orsivedenpinnan tasosta ja veden lämpötilasta on käytössä mittaustulokset kahdeksasta mittauspisteestä vuosilta 2010...2017.



Kuva 2: Pohjavesiputkien sijainnit

**OVP1:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +4,0...+4,3. Lämpötila noin +16 °C.

**OVP2:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,8...+4,2. Lämpötila noin +15 °C.

**OVP3:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,6...+3,8. Lämpötila noin +15 °C.

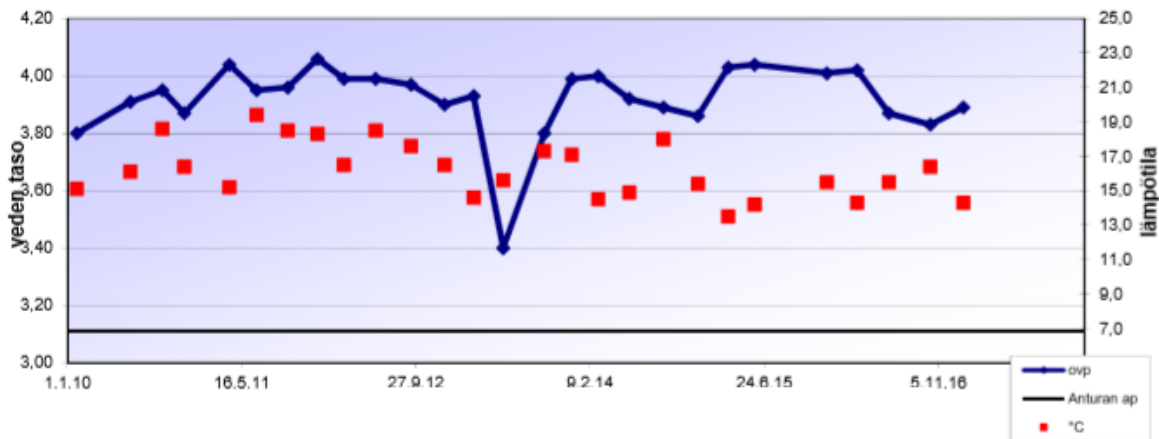
**OVP4:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,3...+3,6. Lämpötila noin +18 °C.

**OVP5:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,7...+4,1. Lämpötila noin +15 °C.

**OVP6:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,4...+4,1. Lämpötila noin +17 °C.

**OVP11:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,8...+4,2. Lämpötila noin +16 °C.

**OVP12:** Vedenpinnan vaihteluväli tasolla +3,8...+4,2. Lämpötila noin +16 °C.



Kuva 3: Orsivedenpinnan mittaustulokset 2010...2017 pisteessä OVP6

Rakennuksen paaluanturoiden alapinta on tasossa +3,0...+3,1. Alimman kerroksen lattia on noin tasossa +4,70. Paalujen yläpinnan taso on noin +3,3.

Suurimmat painumat ovat tapahtuneet mittauspisteiden OVP6 ja OVP7 kohdissa rakennuksen päissä pohjoispuolella. Pisteestä OVP7 ei ole mittausdataa käytettävissä. Kuitenkin jokaisessa mittauspisteessä vedenpinta on pysynyt melko tasaisesti samassa korossa. Vedenpinta ei ole mittausjaksolla laskenut paalujen katkaisu tason alapuolelle.

#### 1.2.4. Hulevedet

Rakennuksen katolta tulevat hulevedet on ohjattu syöksytorvilla sadevesikaivoihin.

Osassa liiketilojen kulkuovista on melko matala kynnyksen etenkin rakennuksen pohjoiskulmassa Brahenkadun varrella, missä on mitattu rakennuksen suurimpia painumia. Painumien jatkuminen voi tulevaisuudessa aiheuttaa hulevesien valumisen kiinteistöihin.



Kuva 4: Kulku pohjoiskulman liiketilaan. Kynnys on todella matala.

### 1.3. Perustukset ja nykykunto, painumat ja syyt

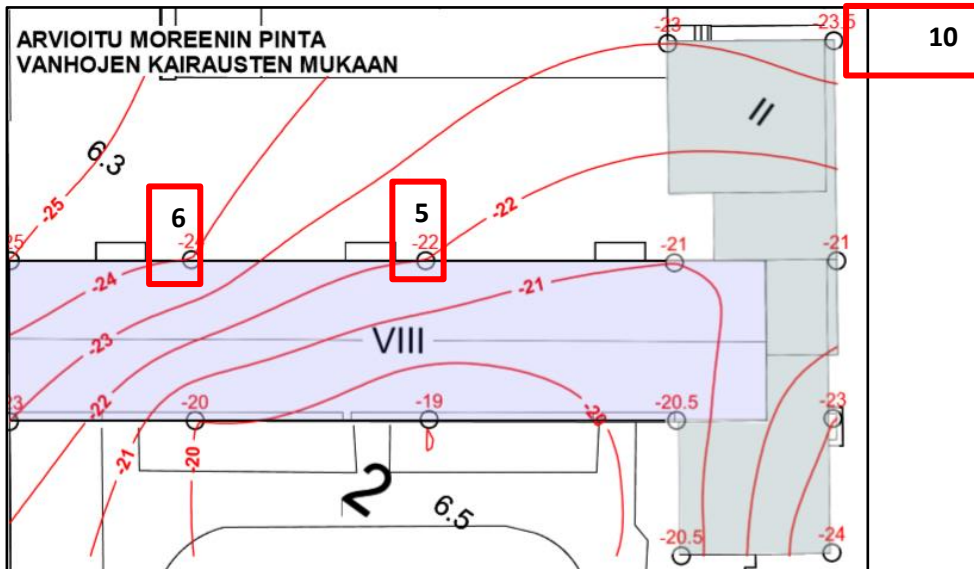
Betoniset paaluanturat on perustettu puupaaluilla, joiden halkaisija on anturan alapinnan tasossa vähintään 200 mm. Vanhassa pohjatutkimuslausunnossa on mainittu, että paalut saa jatkaa enintään yhdellä jatkoksella. Perustusmateriaalina betoni on erittäin pitkäikäinen ja moderni rakennusaine. Maanalaisten betonirakenteiden ei oleteta näillä lähtötiedoilla vaurioituneen tai että niissä olisi tapahtunut sisäisiä muodonmuutoksia.

Sen sijaan puupaalut lienevät perustusratkaisun heikko kohta. Paalujen yläpäävät ovat tasolla +3,1 ja alapäävät todennäköisesti kantavassa pohjareeniassa tasoilla -25...-19. Paalupituudet ovat tällöin 22...28 metriä. Paalujen jatkokset ovat noin paalun puolella välissä tasoilla -10...-7. Puupaalulle 28 metrin kokonaispituutta yhdellä jatkoksella voidaan pitää melko haastavana toteuttaa, kun paalun yläpäähän suuri halkaisija tulee huomioida. Sopivaa puumateriaalia ei välttämättä ole ollut aina saatavilla.

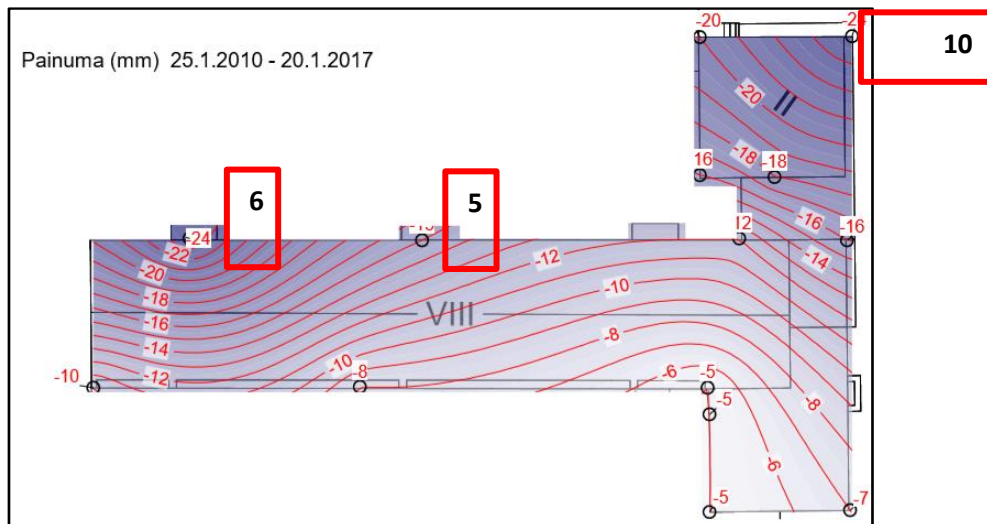
Varsinkin pohjavedenpinnan yläpuolelle jäävät puupaalut ovat erittäin alttiita lahoamiselle. Kuitenkin paalut ovat mittaus- ja painumajakson aikana olleet pohjaveden kauttaaltaan veden kyllästämiä, jolloin pohjavesi ei liene syynä paalujen lahoamiselle. Perustustasoon tiheä jätevesi yhdistettynä melko korkeaan lämpötilaan (+15...18 °C) voi aiheuttaa bakteerilahon paalun yläpäässä, jolloin paalun halkaisija kutistuu ja paalut kokoonpuristuvat.

On huomioitava, että rakennuksessa mitatut epätasaiset painumat noudattelevat kuitenkin aika hyvin tukipaalulta vaadittua pituutta eli etäisyyttä paalun yläpäästä kantavaan pohjareeniin. Suurimmat painumat ovat tapahtuneet rakennuksen länsipäässä pisteessä 6 (24 mm) sekä Brahen kadun varrella pisteessä 10 (24 mm). On mahdollista, että osa pohjoispuolen paaluista ei olekaan ulottunut kantavaan pohjaan vaan jäänyt tukipaalujen sijaan koheesiopaaluiksi.

Epätasaiset pohjaolosuhteet ja kantavan pohjan tasot yhdistettynä erilaisiin perustamisrakenteisiin ja paalutyyppisiin aiheuttavat rakennuksessa epätasaisia painumaa ja kiertymiä.



Kuva 5: Kantavan pohjan tasot



Kuva 6: Rakennuksen painumat

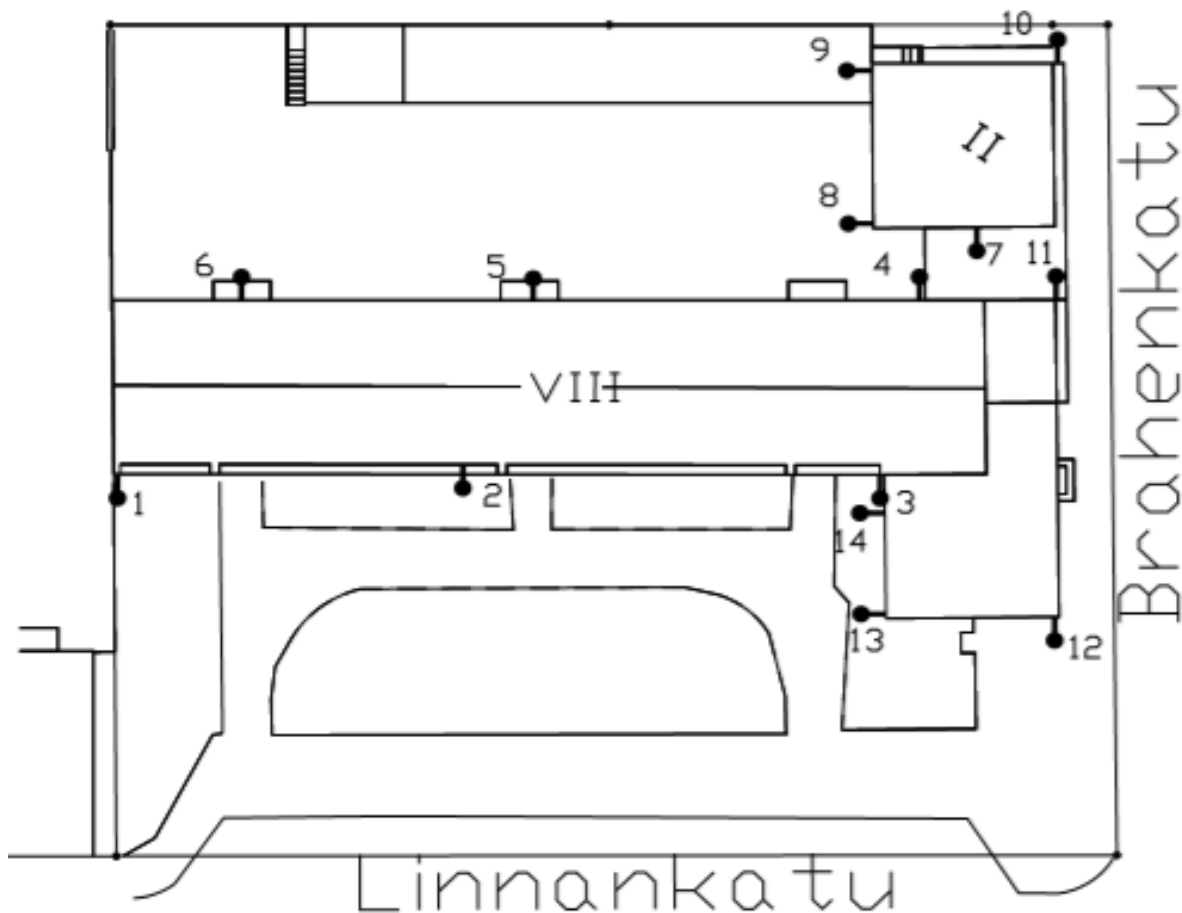
Painumanopeus on ollut melko tasaista. Rakennuksen eteläpuolella painuminen on ollut pienintä ja pysähtynyt. Pohjoispuolella painumisen voidaan olettaa jatkuvat tasaisella nopeudella, mittapisteissä 5, 6 ja 10 noin 4...5 mm/v.

Mittapisteessä 5, joka sijaitsee rakennuksen pohjoispuolella pisteiden 6 ja 10 välissä, on painuminen alkanut hieman viiveellä verrattuna rakennuksen päihin. Tätä voisi selittää statiikan keinoin. Kun rakennuksen päät ovat painuneet, on jäykkä rakennus jäänyt enemmän kantamaan keskimmaisilta perustuksilta, jolloin koheesiopaalujen painuminen on alkanut viiveellä, mutta hyvinkin nopealla vauhdilla.

PAINUMAT VERRATTUNA LÄHTÖKORKKOOON 25.01.2010

	25.1.10	25.1.10	13.1.11	1.3.12	9.1.13	14.1.14	20.1.15	15.1.16	19.1.17	ero edelliseen	nopeus keskim.	nopeus 1 v
1	+7,319	0	-1	-4	-7	-8	-10	-10	-10	0	-1,4	0,0
2	+7,341	0	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-8	0	-1,1	0,0
3			+7,413	-1	-2	-2	-4	-5	-5	0	-0,8	0,0
4	+6,585	0	-1	-5	-6	-8	-8	-9	-12	-3	-1,7	-3,0
5	+6,644	0	-2	-5	-6	-8	-8	-10	-15	-5	-2,1	-4,9
6	+6,670	0	-2	-7	-10	-13	-16	-19	-24	-5	-3,4	-4,9
7	+6,678	0	-3	-7	-11	-12	-13	-14	-18	-4	-2,6	-3,9
8	+6,721	0	-3	-7	-8	-10	-10	-12	-16	-4	-2,3	-3,9
9	+6,844	0	-4	-8	-10	-12	-14	-17	-20	-3	-2,9	-3,0
10	+6,790	0	-4	-9	-12	-15	-17	-20	-24	-4	-3,4	-3,9
11	+6,667	0	-4	-7	-9	-10	-11	-13	-16	-3	-2,3	-3,0
12	+6,734	0	-2	-4	-5	-6	-6	-6	-7	-1	-1,0	-1,0
13	+7,044	0	-1	-1	-3	-4	-5	-5	-5	0	-0,7	0,0
14	+7,336	0	-2	-2	-3	-4	-5	-5	-5	0	-0,7	0,0

Kuva 7: Mitatut painumat



Kuva 8: Painumien mittapisteeet

#### 1.4. Seuranta nyt ja tulevaisuudessa

Viimeiset painumamittaukset on tehty tammikuussa 2017. Tämän jälkeen voidaan olettaa tähän päivään mennessä rakennuksen pohjoispuolen painuneen lisää ainakin 8 mm ja eteläpuolen pysyneen jokseenkin paikoillaan.

Painumamittauksia ja pohjavedenpinnan tasoa mitataan toistaiseksi samoista pisteistä ainakin korjaushankkeen ja takuuajan päättymiseen asti.

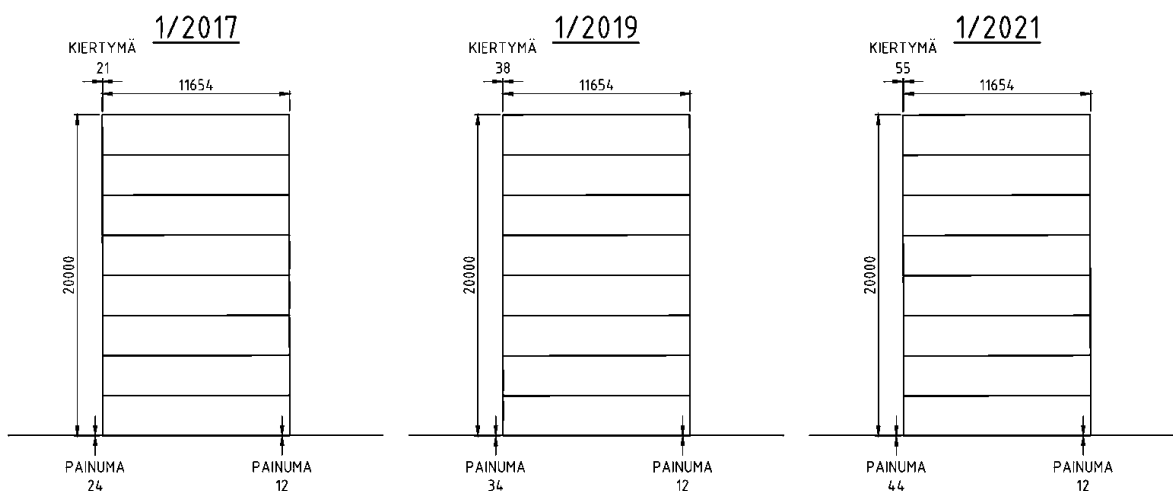




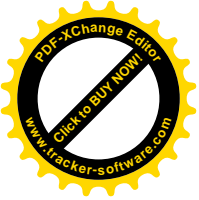
### 1.5. Toimenpiteet ja aikataulu

Rakennuksen painumien ja kiertymän oletetaan jatkuvat samalla nopeudella jatkossakin. Asuinkerrostalon pohjoissivu painuu 5 mm/v ja eteläsivun painuma on pysähtynyt. Mikäli taloyhtiö tekee välittömästi päätöksen korjaushankkeesta, voidaan korjaussuunnittelu aloittaa ja rakennuksen perustukset vahvistaa vuoden 2021 loppuun mennessä. Tällöin rakennuksen pohjoissivun päädyt ovat painuneet enimmillään noin 40...50 mm mittauspisteessä 6 ja 10, ks. kuva alla.

Rakennuksessa ei ole vielä havaittu halkeilua ja murtumia epätasaisesta painumasta, ja mikäli pohjoissivun tasainen painuminen jatkuu, voidaan betonirakenteiden korjauksilta välttyä ja keskittyä pelkästään perustusten vahvistamiseen.



Kuva 9: Rakennuksen painumaennuste 2017-2021 sekä kiertymä, leikkaus mittauspisteen 6 kohdalta



## 2. Perustusten vahvistaminen

### 2.1. Vaihtoehtoiset ratkaisut

Tarkastellaan perustusten vahvistusvaihtoehtoja rakennuksen kohdissa 1-4.

#### *1 Asuinkerrostalon kantavan väliseinän paalutettu seinäantura, kellarissa*

Perustus painuu pohjoispäästään tasaisella nopeudella. Eteläpään painuma on pysähtynyt. Antura on leveä, eikä sen kantavuudessa ole ongelmia. Puupaalujen painuminen on saatava pysäytettyä. Ainoa varteenotettava perustamistapa on paalujen uusiminen teräksisinä tukipaaluina. Paalujen kantavuutta voidaan parantaa valamalla paalut täyteen betonia, jolloin paalumäärää voidaan mahdollisesti vähentää, mikäli paalujen rakenteellinen kantavuus tulee määrääväksi verrattuna geotekniseen kantavuuteen.

Betonirakenteet ovat erittäin hyvä alusta uusien paalujen tunkkaamista ajatellen. Paalut voidaan asentaa perustusten läpi ja esikuormittaa ankkuroimalla kuormansiirtorakenteet anturoihin. Perustuksiin on timanttiorattava läpimenot paaluja varten.

Vaihtoehtoiset paalutyypit ovat lyömällä, poraamalla ja puristamalla asennettavat paalut. Paalujen on todennäköisesti kyettävä lävistämään vanhoja puupaaluja, jotka sijaitsevat noin 650 mm ruudussa. Lisäksi puupaalujen halkaisija 200 mm kasvaa noin 12 metrin syvyydessä paalujatkoksen kohdalla 300 mm halkaisijaan. Kerralla porattavan paaluelementin pituus on noin 2,0 metriä.

Tämän perusteella ainoa soveltuva menetelmä on puupaalujen läpi porautuvien teräsputkipaalujen käyttäminen. Porauskaluston saaminen kellaritiloihin voi kuitenkin olla haastavaa, minkä takia varavaihtoehtona pidetään puristamalla asennettavia teräsputkipaaluja.

#### *2 Asuinkerrostalon parveketornin paalutettu seinäantura, kellarin tasossa, ulkopuolella*

Asennetaan parveketornin tukipaalut samoin perustein kuin kohdassa 1. Perustukset voidaan kaivaa täysin auki, koska paaluperustuksen kantavuus ei ole riippuvainen laattaa tukevan ympärystytön syvyydestä. Ulkotiloissa voidaan käyttää pitkiä paaluelementtejä.

#### *3 Liikerakennuksen sisällä sijaitseva pilariantura, kellarissa*

Asennetaan parveketornin tukipaalut samoin perustein kuin kohdassa 1. Pilariantura on perustettu kuuden puupaalun varaan ja jäykistää rakennuksen lyhyen seinän suunnassa.

#### *4 Liikerakennuksen sisällä sijaitseva pilariantura, kellarissa ja ulkopuolella*

Asennetaan parveketornin tukipaalut samoin perustein kuin kohdissa 1 ja 2. Pilariantura on perustettu neljän puupaalun varaan ja jäykistää rakennuksen pitkän seinän suunnassa.

### 2.2. Käytettävä perustusten vahvistusmenetelmä

Vanhan perustuksen asettamien rajoitusten takia käytetään ensisijaisena vahvistusmenetelmänä porapaalua, joka porataan kallioon neljä kertaa halkaisijansa verran.



### 3. Perustusten kuormat

Perustuksia kuormittavat sekä pysty- että vaakakuormista syntyvä pystykomponentti. Kuormat jaetaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Perustusten kuormista lasketaan yksittäiselle paalulle ja kuormansiirtorakenteelle välittyvä kuorma murto- ja käyttörajatilan arvona.

#### 3.1. Pysyvät kuormat

- Rakennuksen omapaino: vesikatto, yläpohja, välipohjat, alapohja, seinät, antura, maatyttö

#### 3.2. Muuttuvat kuormat

- Lumikuorma katolla  $2 \text{ kN/m}^2$
- Väli- ja alapohjan hyötykuormat  $2 \text{ kN/m}^2$
- Parvekkeiden hyötykuormat  $2,5 \text{ kN/m}^2$
- Tuulikuorma

#### 3.3. Kuormitustapaukset

Paalukuormien arvot tutkitaan seuraavissa kuormitustapauksissa:

KT1 - MRT - 6.10a: Suurin pystykuorma, ei vaakakuormaa

KT2 - MRT 6.10b: Suurin pystykuorma, suurin vaakakuorma

KRT – Paalukuorman ominaisarvo murto-rajatilan määräävässä kuormitustapauksessa

Paalukuorman käyttörajatilan arvolla lasketaan paalun kimmoisen kokoonpuristuma. Käyttörajatilan kuorman arvo vastaa paalun esijännitysvoimaa, jolla varmistetaan, että perustuksessa ei enää tapahdu kimmoista kokoonpuristumista perustuksen vahvistamisen jälkeen.

Taulukossa 1 on esitetty perustusten vahvistuksissa käytettävät paalukoot, kuormat, kestävyys ja tunkkauksessa tavoiteltava kokoonpuristumat rakennuksen kohdissa 1-4.

Taulukko 1: Käytettävät paalut, kuormat ja kestävyys

Kohta Nro	Paalu	Määrä	Paalukuorma MRT [kN]	Paalukuorma KRT [kN]	Kestävyys [kN]	Käyttöaste %	Puristuma [mm]
1	RD 8/140	2 kpl k1600	990	829	994	95 %	22
2	RD 8/140	1 kpl	620	459	994	62 %	20
3	RD 8/115	4 kpl	440	358	702	63 %	19
4	RD 8/115	4 kpl	331	276	702	47 %	14



## 4. Perustusten ja kuormansiirtorakenteiden mitoitus

### 4.1. Paalujen rakenteellinen kestävyys

Käytettävät paalukoot on esitetty suunnitelmapiirustuksissa. Kestävyys ja materiaalilujuudet on esitetty laskelmissa tämän raportin liitteissä ja työselostuksessa. Paalu on mitoitettu teräksen ja betonin liittorakenteena. Korroosiovähennys on tehty paalun ulkovaipalle.

### 4.2. Paalujen kimmainen kokoonpuristuma ja esijännitys

Paalun esijännitysvoima ja sitä vastaava puristuma tunkkaamisen aikana on esitetty laskelmissa tämän raportin liitteissä ja työselostuksessa.

### 4.3. Kuormansiirtorakenteen kestävyys

Käytettävä kuormansiirtorakenne on esitetty suunnitelmapiirustuksissa.

#### Kohta 1

Kuorma siirretään seinältä paaluille teräspalkin avulla. Seinän aiheuttama mitoituspistekuorma palkille on noin 2000 kN ja tästä aiheutuva taivutusmomentti 750 kNm. Valitaan kuormansiirtopalkiksi HEB340 S355, jonka taivutuskestävyys on 765 kNm. Palkin mitoitusleikkausrasitus on noin 1000 kN ja kestävyys 1450 kN. Palkkiin asennetaan uumajäkisteet tunkin alle seinälinjalle.

Vaihtoehtoinen kuormansiirtorakenne olisi paalujen ankkurointi anturalaattaan. Kokemus on kuitenkin osoittanut vetorasitettujen liitosten olevan riskialttiita verrattuna esimerkiksi kuormansiirtopalkkiin, jossa kuormat siirtyvät paaluille puskuliitosten kautta. Lisäksi matalaan anturalaattaan on haastavaa ankkuroida suuria paalukuormia suurten ankkurointipituuksien takia. Käytettävällä kuormansiirtorakenteella ei vähennetä kellarin lattiapinta-alaa eikä rakenteesta jää mitään näkyviin.

#### Kohta 2

Kuorma siirretään seinältä paaluille betonisen tunkkauspalkin avulla. Paalun epäkeskisyyssuhteessa seinälinjaan on 170 mm, mikä aiheuttaa paalulle epäkeskeisen kuormituksen. Paalukuorma on kuitenkin pieni, jolloin paalu kestää ylimääräistä taivutusmomenttia. Lisäksi antura on massiivinen betonirakenne, joka kykenee siirtämään epäkeskeisen kuorman aiheuttamaa vääntöä seuraavalle paaluriville.

Vaihtoehtoinen kuormansiirtorakenne olisi paalujen ankkurointi anturalaattaan. Kokemusperäisesti halutaan kuitenkin käyttää puskuliitoksia. Seinän sisäpuolelle ei haluta mennä ja purkaa rakenteita, esim. betoniportaita, minkä takia päädytään käyttämään pistemäisesti toispuoleista paalutusta. Tämä osa rakennetta ei toimi rakennuksen jäykistävänä osana, joten kuormien voidaan olettaa ohjautuvan massiivisessa rakenteessa ns. jäykistäville perustuksille.



### Kohta 3

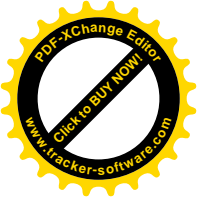
Kuorma siirretään pilarianturan laatalta uusille porapaaluille ankkuritankojen avulla. Ankkureina käytetään kierretankoa M20 (lujuus 8.8). Tangoille porataan läpiviennit D50 4 kpl 300\*300 ruutuun anturalaatan läpi. Tankoihin asennetaan anturan alapintaan aluslaatat. Tankojen yläpäähän kiristetään teräslevy 30\*400\*400 S355, jolla paaluun tunkataan esijännitys. Teräslevyn vaikuttaa paalukuorma 440 kN, joka aiheuttaa levyn mitoitusmomentin 22 kNm, kun huomioidaan teräslevyn toiminta ristiinkantavana laattana. Levyn teräsännitys on tällöin 293 N/mm<sup>2</sup> ja kestävyys 355 N/mm<sup>2</sup>. Yhdessä tangossa vaikuttaa mitoitusvetorasitus 110 kN. Tangon vetokestävyys on 201 kN.

Vaihtoehtoinen kuormansiirtorakenne olisi tunkkauspalkkien rakentaminen anturalaatan päälle, mutta ne vähentäisivät huomattavasti lattiapinta-alaa kellarikerroksesta. Ohut anturalaatta ei sijaitse kovin syvällä, joten sen alle voidaan kaivaa potero, jonka kautta laattaan on kohtalaisen helppo ankkuroida vetotangot.

### Kohta 4

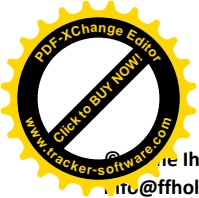
Kuorma siirretään seinältä paaluille betonisen tunkkauspalkin avulla. Tämä vähentää hieman kellarikerroksen lattiapinta-alaa, mutta vaikutukset ovat hyvin pistemäisiä.

Vaihtoehtoinen kuormansiirtorakenne olisi paalujen ankkurointi anturalaattaan. Kokemusperäisesti halutaan kuitenkin käyttää puskuliitoksia.



## LIITTEET

1. Paalukuormien laskenta, kohta 1
2. Paalukuormien laskenta, kohta 2
3. Paalukuormien laskenta, kohta 3
4. Paalukuormien laskenta, kohta 4
5. Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus, RD8/115 S440
6. Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus, RD8/140 S440
7. Perustusten suunnitelmapiirustukset 1-4
8. Työselostus



---

Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

---

## SISÄLLYS

### **A) Pystykuormat**

Perustuksen kuormitusmittoja, korkea siipi  
Rakennuksen pystykuormat  
Kuormitustapaukset

### **B) Vaakakuormat**

Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakakuorma, 1/150  
Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli  
Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten  
Rakennuksen vaakakuormat, koonti

### **C) Paalukuormat**

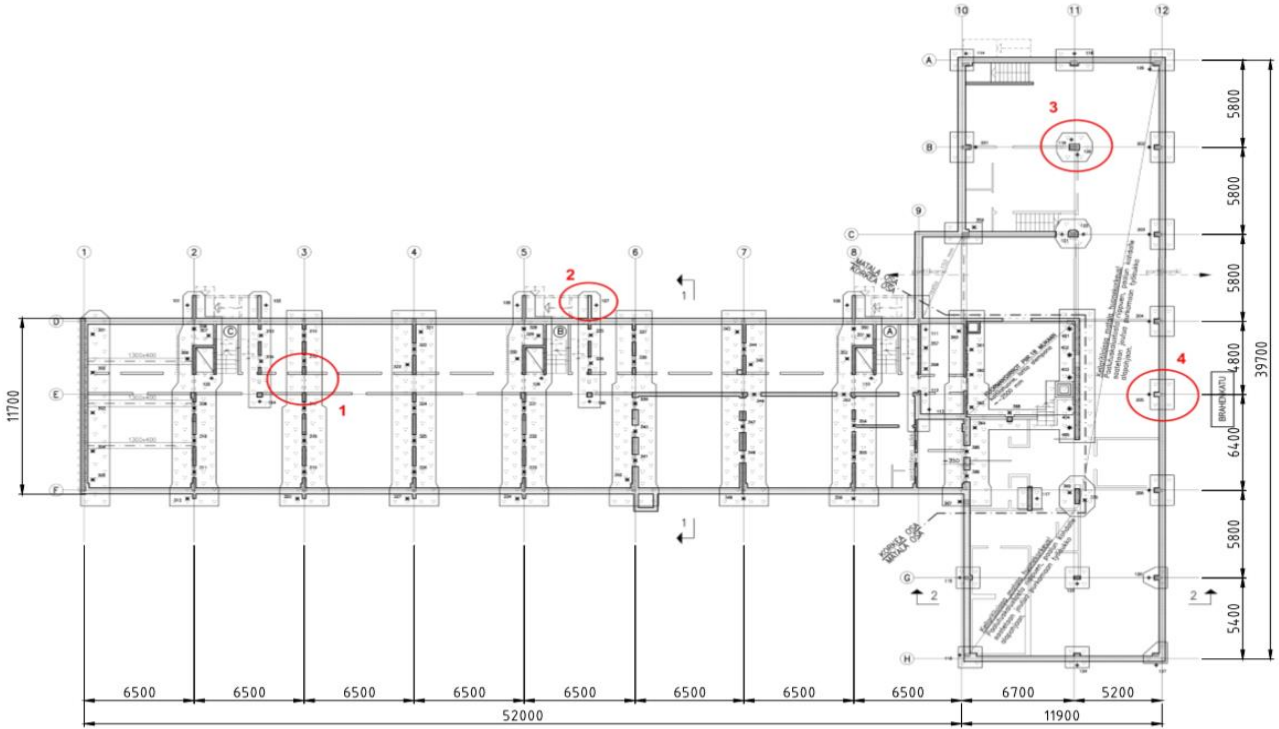
### **D) Paalujen määrän mitoitus**

Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

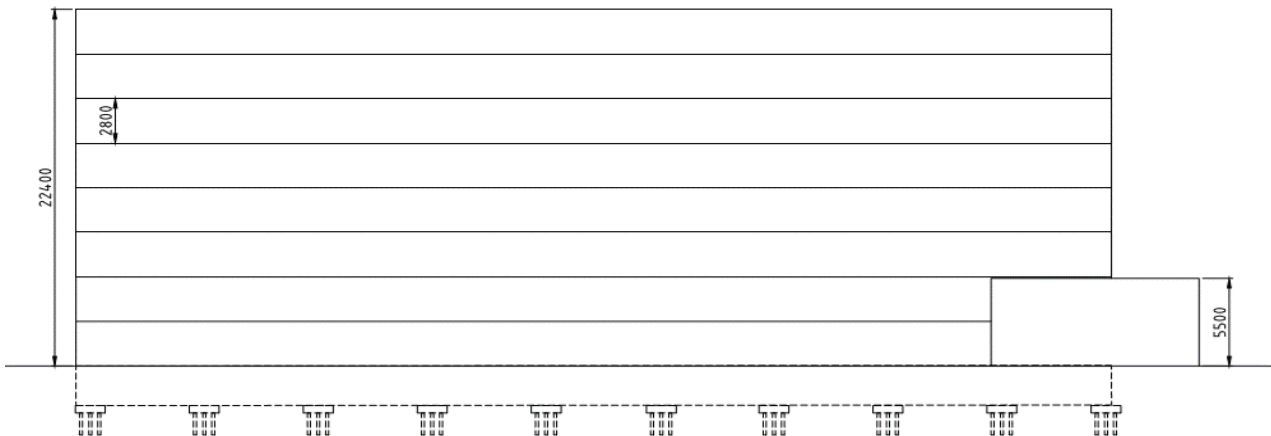
### A) Pystykuormat

Kohdassa 1 on kantavan väliseinän paalutettu seinäntura. Seinäntura on osa rakennusta jäykistävää seinälinjaa minkä takia rakennukseen kohdistuvat vaakakuormat aiheuttavat perustukselle kuorman epäkeskeisyyttä perustuksen pituussuunnassa. Lasketaan paalukuormat paalukuormat seinänturan alla.

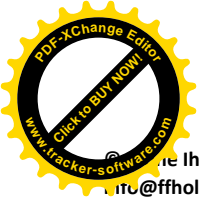
Rakennuksen tasokuva



Rakennuksen pitkän sivun julkisivu







Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

#### Perustuksen kuormitusmittoja, korkea siipi

$H_{kok}$	=	22,40	m	Talon korkeus maanpinnasta
$L_{kok}$	=	6,50	m	Kuormituspituus
$B_{talo}$	=	11,70	m	Kuormitusleveys
$n$	=	9		Kerrosten määrä, asuinkerrokset + kellari
$H_k$	=	2,8	m	Yhden kerroksen korkeus
$A_{katto}$	=	86	m <sup>2</sup>	Vesikaton pinta-ala
$A_{vp}$	=	76	m <sup>2</sup>	Välipohjan pinta-ala, seinien pinta-ala vähennetty

#### Rakennuksen pystykuormat

Määritetään yhdelle kerrokselle välittyvät pystykuormat

##### Vesikatto

$q_{klumi,0}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorman perusarvo maassa
$\mu_i$	=	0,8		Lumikuorman korjauskerroin katolla, tasakatto
$q_{klumi}$	=	1,6	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma katolla
$Q_{k,lumi}$	=	137	kN	Lumikuorma
$g_{k,katto}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Vesikatteen, eristeiden, puuristikoiden ym. rakenteiden omapaino
$G_{k,katto}$	=	172	kN	Vesikaton omapaino

##### Yläpohja, betonilaatta

$h_{yp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,yp1}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$G_{k,yp}$	=	429	kN	Omapaino

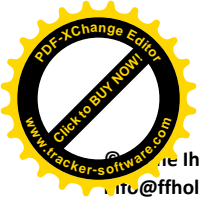
##### Välipohja, betonilaatta

$h_{vp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,l}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$g_{k,t}$	=	0,5	kN/m <sup>2</sup>	Tasausvalu
$g_{k,vp}$	=	5,5	kN/m <sup>2</sup>	Välipohjalaatan paino
$q_{hyöty}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Hyötykuorma
$G_{k,vp}$	=	418	kN	Välipohjan omapaino, ontelolaatta
$Q_{k,vp}$	=	152	kN	Välipohjan hyötykuorma

##### Kerroksen seinät

Lasketaan seinien omapaino. Arvioidaan aukkojen osuudeksi 15 %.

$L_{s1}$	=	13	m	Kantavien ulkoseinien kokonaispituus
$g_{s1}$	=	19,2	kN/m	Kantavien ulkoseinien metrikuorma, KRT
$L_{se2}$	=	26	m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien kokonaispituus
$g_{s2}$	=	6,7	kN/m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien metrikuorma, KRT
$L_{s3}$	=	12	m	Kantavien väliseinien kokonaispituus
$g_{s4}$	=	9,4	kN/m	Kantavien väliseinien metrikuorma, KRT
$G_{k,s}$	=	532	kN	Kerroksen seinien omapaino



Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Perustuksen omapaino**

$L_a =$	13 m	Perustuksen pituus
$g_a =$	62,5 kN/m	Perustuksen metrikuorma, KRT
$g_m =$	36,0 kN/m	Maamassan metrikuorma, KRT
$G_{k,a} =$	1281 kN	Perustuksen omapaino

**Koko rakennuksen kuormat**

$$G_{k,kok} = G_{k,katto} + G_{k,yp} + n * G_{k,vp} + n * G_{k,s} + G_{k,a}$$

$G_{k,kok} = 10433 \text{ kN}$  Koko talon kuorma perustuksen alapinnasta ylöspäin

$$Q_{k,hyöty} = n * Q_{k,vp}$$

$Q_{k,hyöty,kok} = 1369 \text{ kN}$  Koko talon kerrosten hyötykuorma, alapohja huomioitu

$Q_{k,lumi} = 137 \text{ kN}$  Talon lumikuorma

**Kuormitustapaukset**

Tarkastellaan rakennukset pystykuormitusta eri kuormitustapauksissa

Huomataan, että hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma.

**KT1) Käyttörajatila**

$$N_k = G_{k,kok} + Q_{k,hyöty,kok} + Q_{k,lumi}$$

$N_k = 11939 \text{ kN}$  Koko talon pystykuormien ominaisarvo

**KT2) MAX kuormitus, 6.10b**

$\gamma_g =$	1,15	Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	1,50	Muuttuvan kuorman osavarmuus
$K_{FI} =$	1,1	Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	13198 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * (\gamma_q * Q_{k,hyöty} + 1,05 * Q_{k,lumi})$	2417 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	15615 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

**KT3) MAX kuormitus, 6.10a**

$\gamma_g =$	1,35	Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	0,00	Muuttuvan kuorman osavarmuus
$K_{FI} =$	1,1	Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	15493 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * \gamma_q * Q_{k,hyöty}$	0 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	15493 kN	Pystykuorman mitoitusarvo
$N_d =$	15615 kN	Pystykuorman suurin mitoitusarvo

Tarkastetaan paalukuormat kuormitustapauksessa 6.10b + tuulikuorma.

Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### B) Vaakuorimat

Määritetään rakennuksen vaakuorimat tuulesta ja pystykuormien epäkeskeisyydestä.

#### Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakuorma, 1/150

$V_{Nk,y} = N_k / 150$		
$V_{Nk,y} =$	80 kN	Vaakavoima rakennuksen pitkälle sivulle
$V_{Nd,y} =$	92 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo
$V_{Nk,x} = B / L * N_k / 150$		
$V_{Nk,x} =$	143 kN	Vaakavoima rakennuksen lyhyelle sivulle
$V_{Nd,x} =$	165 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo

#### Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli

VIIITE: RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat  
Osa 1.4: Rakenteiden kuormat - Yleiset kuormat. Tuulikuormat

Määritetään rakennuksen ulko- ja sisäpintoihin vaikuttavat tuulenpainet.  
Rakennus sijaitsee kaupungin keskusta-alueella, maastoluokassa IV.

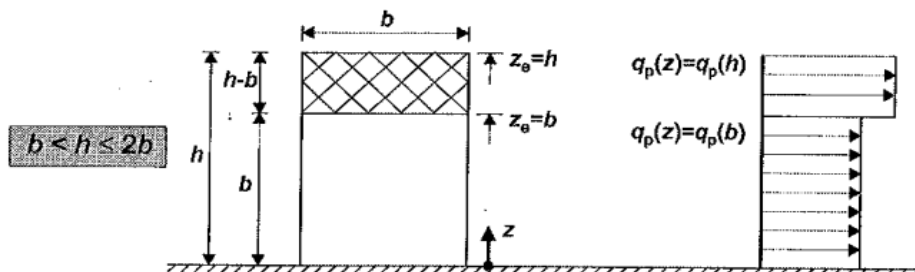
#### Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine

Rakennuksen korkeus on suurempi kuin leveys. Korkeuden B yläpuolella vaikuttaa suurempi tuulikuorma.  
Yksinkertaistetaan laskelmaa ja mitoitetaan koko seinän korkeus maksimituulikuormalla  $q_p(h)$ .

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pe} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava ulkoinen paine}$$

#### Tuulikuormitus talon pitkää seinää vasten

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pi} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava sisäinen paine}$$



H=	22,40 m	Talon korkeus
B=	11,70 m	Talon syvyys tuulensuunnassa
D=	6,50 m	Tuulen puoleinen sivu
E=	6,50 m	Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$c_{pe,10}$	$c_{pi}$	$c_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	22,40	0,48	0,8	0	0,8	0,38	Rakennukseen sisäänpäin
E	22,40	0,48	-0,7	0	-0,7	-0,34	Rakennuksesta ulospäin
						0,72	

$$A_{ref} = 146 \text{ m}^2 \quad \text{Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = w_{netto} * A_{ref}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = 105 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT}$$

$$Q_{d,tuuli,y} = 157 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT}$$

Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten**

<b>H</b> =	22,40 m	Talon korkeus
<b>B</b> =	6,50 m	Talon syvyys tuulensuunnassa
<b>D</b> =	11,70 m	Tuulen puoleinen sivu
<b>E</b> =	11,70 m	Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$C_{pe,10}$	$C_{pi}$	$C_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	22,40	0,48	0,8		0,8	0,38	Rakennukseen sisäänpäin
E	22,40	0,48	-0,7		-0,7	-0,34	Rakennuksesta ulospäin
						0,72	

$A_{ref} = 262 \text{ m}^2$  Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä

$Q_{k,tuuli,x} = w_{netto} * A_{ref}$

$Q_{k,tuuli,x} = 189 \text{ kN}$  Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT

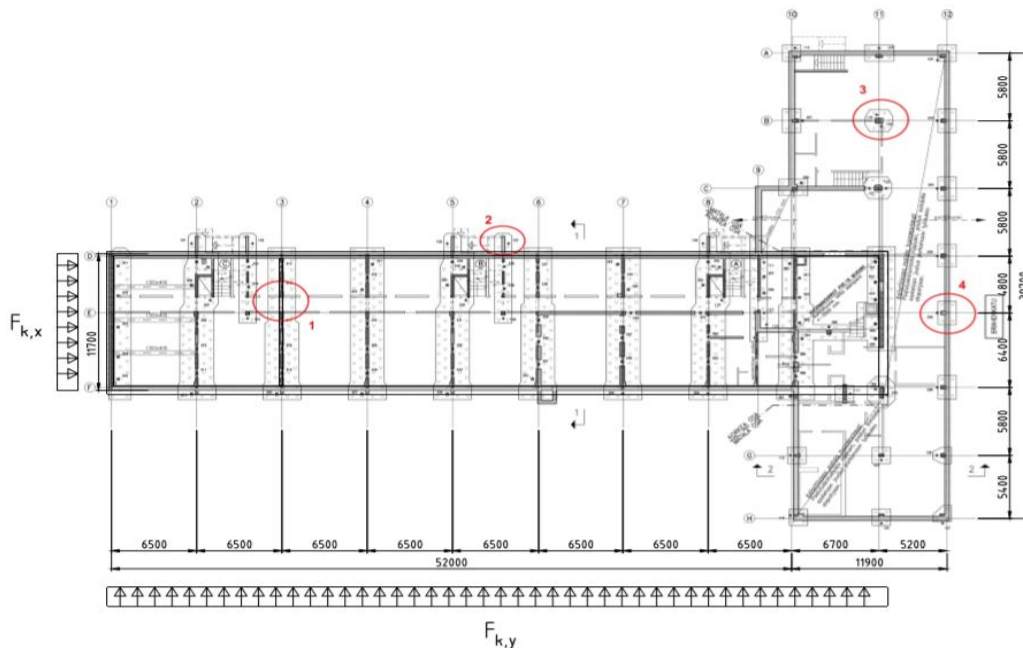
$Q_{d,tuuli,x} = 283 \text{ kN}$  Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT

**Rakennuksen vaakakuormat, koonti**

$F_{k,y} = V_{Nk,y} + Q_{k,tuuli,y} = 184 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti pitkää seinää vasten  
 $F_{d,y} = 249 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

$F_{k,x} = V_{Nk,x} + Q_{k,tuuli,x} = 332 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti lyhyttä seinää vasten  
 $F_{d,x} = 448 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

X-suuntainen tuulikuorma jakautuu kaikille anturoille, Y-suuntainen kuorma vain tutkittavalle anturalle.



Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### C) Paalukuormat

Tuulikuormasta ja rakenteiden vinoudesta johtuva vaakakuormitus aiheuttaa rakennukseen pystykuormien epäkeskisyyttä, joka kasvattaa paalukuormia tuulensuojaisella seinällä.

Perustuksena toimivat kimmoiset teräspaalut, jolloin pystykuorma voidaan esittää kimmoteorian mukaisesti tasaisena viivakuormana paaluille.

$$V_{Nk} = 80 \text{ kN} \quad \text{Omanpainon vaakakuorman mitoitusresultantti}$$

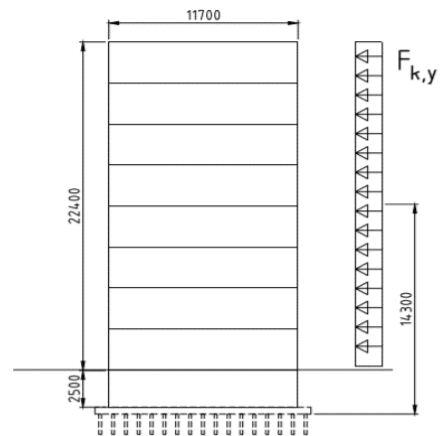
$$s = 11,25 \text{ m} \quad \text{Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta}$$

$$Q_{k,tuuli} = 105 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman mitoitusresultantti}$$

$$s = 13,1 \text{ m} \quad \text{Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta}$$

$$M_k = V_{Nk} * s_1 + Q_{k,tuuli} * s_2 = 2269 \text{ kNm}$$

$$L = 13,0 \text{ m} \quad \text{Anturan pituus}$$



$$N_k = 11939 \text{ kN} \quad \text{Anturan kokonaispystykuormitus}$$

$$M_k = 2269 \text{ kNm} \quad \text{Anturan pituussuunnassa vaikuttava momentti}$$

$$e_1 = M_k / N_k$$

$$e_1 = 0,2 \text{ m} \quad \text{Kuorman epäkeskisyyttä}$$

$$L_{eff} = L - 2 * e_1$$

$$L_{eff} = 12,6 \text{ m} \quad \text{Seinän tehokas pituus koko talon leveydestä}$$

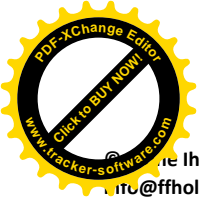
$$N_d = 15615 \text{ kN} \quad \text{Rakennuksen pystykuorman mitoitusarvo}$$

$$P_d = N_d / L_{eff}$$

$$B = 6,5 \text{ m} \quad \text{Perustuksen kuormitusleveys}$$

$$P_d = 1237 \text{ kN/m} \quad \text{Perustuksen pystykuorman mitoitusarvo}$$

Todetaan, että rakennuksen vaakakuormituksella ei juurikaan ole vaikutusta paalukuormiin.



Laskennan suoritti: **Liite 1. Paalukuormien laskenta, kohta 1**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**D) Paalujen määrän mitoitus**

Mitoitetaan paalumäärä vastaamaan seinäanturalta välittyvää metrikuormaa.  
Paalujen kantavuus on laskettu Paalutusohje 2016 mukaisesti Liitteessä 5.

- Betonoitu teräsputkipaalu 8/140 S440J2H
- Paalutustyöluokka PTL2
- Paalupituus 23...27 m, kierrejatkokset 2,0 m välein
- Paalujen katkaisutasossa pohjamaan suljettu leikkauslujuus  $C_{uk}=16,5$  kPa
- Pitkä- ja lyhytaikaisen kuorman osuus 90/10

$R_d =$	994	kN	Paalun kantavuus
$n =$	2	kpl	Paalujen määrä anturapoikkileikkauksessa
$kk =$	1,6	m	Paalujako seinäanturassa
$G_k =$	10433	kN	Pysyvän kuorman ominaisarvo
$Q_k =$	1506	kN	Muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\gamma_g =$	1,15		Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	1,50		Muuttuvan kuorman osavarmuus
$\%_g =$	87 %		Pysyvän kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\%_q =$	13 %		Muuttuvan kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\gamma_F =$	1,19		Painotettu kuorman osavarmuuskerroin

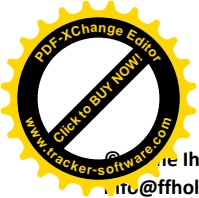
Kohta Nro	Paaluille $P_d$ [kN/m]	Paalukuorma MRT [kN]	Paalukuorma KRT [kN]	Kestävyys [kN]	Käyttöaste %
1	1237	990	829	994	100 %

Pienin sallittu paalujako on 800 mm tai  $4 * D$  -> Paalujako vähintään 800 mm.

Paalutuksen määrä vähenee huomattavasti suhteella vanhojen puupaalujen määrään. Samalla paalukuormat kasvavat.

Anturan betonilaatasta on käytössä vain poikkileikkauksen mittatiedot. Raudoituksen tiedot olisivat oleellisia anturan taivutus- ja lävistysmitoituksen tarkastamisen kannalta.

Valetaan rakenteisiin paalujen kohdille raudoitettut kuormansiirtorakenteet.



Laskennan suoritti:

*Liite 2. Paalukuormien laskenta, kohta 2*

Pvm:

*Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!*

## SISÄLLYS

### A) Pystykuormat

Perustuksen kuormitusmittoja, parveketorni  
Rakennuksen pystykuormat  
Kuormitustapaukset

### C) Paalukuormat

### D) Paalujen määrän mitoitus

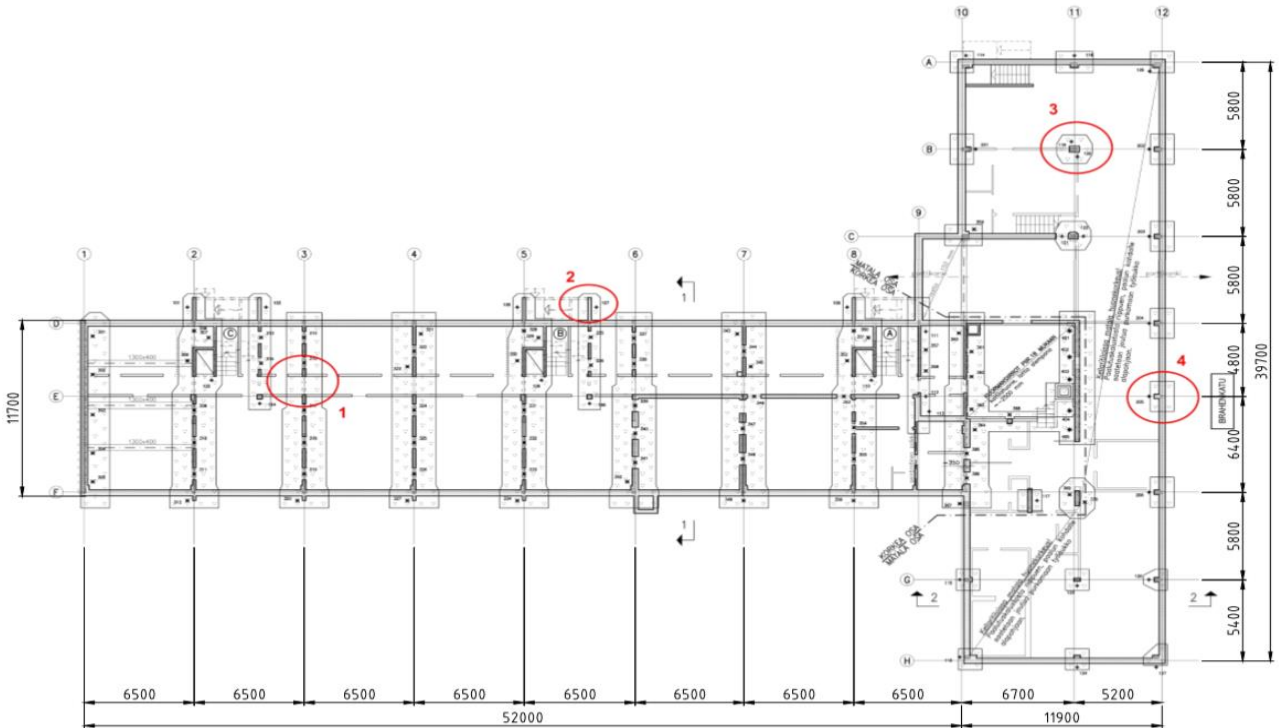
Laskennan suoritti: **Liite 2. Paalukuormien laskenta, kohta 2**  
 Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**A) Pystykuormat**

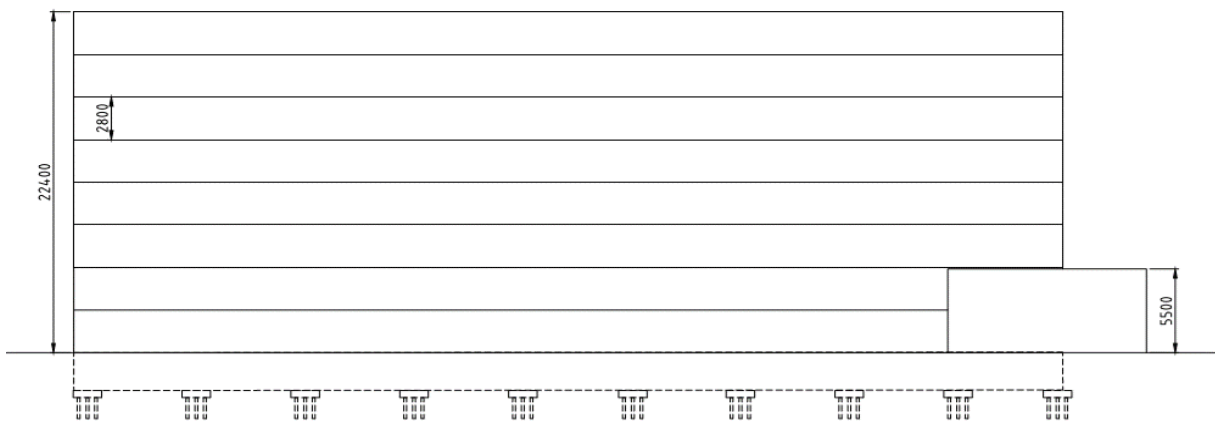
Kohdassa 2 on parveketornin paalutettu seinäantura.

Seinäantura ei ole osa rakennuksen jäykistystä, jolloin siihen ei oleteta vaikuttavan vaakakuormia, jotka aiheuttaisivat pystykuormien epäkeskeisyyttä ja kasvattaisivat epätasaisia paalukuormia.

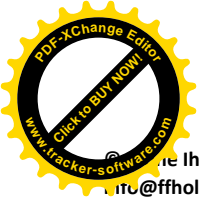
Rakennuksen tasokuva



Rakennuksen pitkän sivun julkisivu







Laskennan suoritti: **Liite 2. Paalukuormien laskenta, kohta 2**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Perustuksen kuormitusmittoja, parveketorni**

$H_{kok}$	=	20,00	m	Talon korkeus maanpinnasta
$L_{kok}$	=	2,00	m	Talon pituus
$B_{talo}$	=	1,50	m	Talon leveys
$n$	=	8		Kerrosten määrä, asuinkerrokset + kellari
$H_k$	=	2,5	m	Yhden kerroksen korkeus
$A_{katto}$	=	5	m <sup>2</sup>	Vesikaton pinta-ala
$A_{vp}$	=	3	m <sup>2</sup>	Välipohjan pinta-ala, seinien pinta-ala vähennetty

**Rakennuksen pystykuormat**

Määritetään yhdelle kerrokselle välittyvät pystykuormat

**Vesikatto**

$q_{klumi,0}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorman perusarvo maassa
$\mu_i$	=	0,8		Lumikuorman korjauskerroin katolla, tasakatto
$q_{klumi}$	=	1,6	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma katolla
$Q_{k,lumi}$	=	8	kN	Lumikuorma
$g_{k,katto}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Vesikatteen, eristeiden, puuristikoiden ym. rakenteiden omapaino
$G_{k,katto}$	=	10	kN	Vesikaton omapaino

**Yläpohja, betonilaatta**

$h_{yp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,yp1}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$G_{k,yp}$	=	25	kN	Omapaino

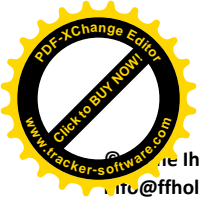
**Välipohja, betonilaatta**

$h_{vp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,l}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$g_{k,t}$	=	0,5	kN/m <sup>2</sup>	Tasausvalu
$g_{k,vp}$	=	5,5	kN/m <sup>2</sup>	Välipohjalaatan paino
$q_{hyöty}$	=	2,5	kN/m <sup>2</sup>	Hyötykuorma
$G_{k,vp}$	=	14	kN	Välipohjan omapaino, ontelolaatta
$Q_{k,vp}$	=	6	kN	Välipohjan hyötykuorma

**Kerroksen seinät**

Lasketaan seinien omapaino. Arvioidaan aukkojen osuudeksi 15 %.

$L_{s1}$	=	0	m	Kantavien ulkoseinien kokonaispituus
$g_{s1}$	=	9,4	kN/m	Kantavien ulkoseinien metrikuorma, KRT
$L_{s2}$	=	2,50	m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien kokonaispituus (Kaiteet)
$g_{s2}$	=	3,8	kN/m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien metrikuorma, KRT
$L_{s3}$	=	2	m	Kantavien väliseinien kokonaispituus
$g_{s4}$	=	3,8	kN/m	Kantavien väliseinien metrikuorma, KRT
$G_{k,s}$	=	17	kN	Kerroksen seinien omapaino



Laskennan suoritti: **Liite 2. Paalukuormien laskenta, kohta 2**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Perustuksen omapaino**

$L_a =$	2 m	Perustuksen pituus
$g_a =$	32,5 kN/m	Perustuksen metrikuorma, KRT
$g_m =$	44,0 kN/m	Maamassan metrikuorma, KRT
$G_{k,a} =$	138 kN	Perustuksen omapaino

**Koko rakennuksen kuormat**

$$G_{k,kok} = G_{k,katto} + G_{k,yp} + n * G_{k,vp} + n * G_{k,s} + G_{k,a}$$

$$G_{k,kok} = 418 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kuorma perustuksen alapinnasta ylöspäin}$$

$$Q_{k,hyöty} = n * Q_{k,vp}$$

$$Q_{k,hyöty,kok} = 50 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kerrosten hyötykuorma, alapohja huomiota}$$

$$Q_{k,lumi} = 8 \text{ kN} \quad \text{Talon lumikuorma}$$

**Kuormitustapaukset**

Tarkastellaan rakennukset pystykuormitusta eri kuormitustapauksissa  
Huomataan, että hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma.

**KT1) Käyttörajatila**

$$N_k = G_{k,kok} + Q_{k,hyöty,kok} + Q_{k,lumi}$$

$$N_k = 476 \text{ kN} \quad \text{Koko talon pystykuormien ominaisarvo}$$

**KT2) MAX kuormitus, 6.10b**

$$\gamma_g = 1,15 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

$$\gamma_q = 1,50 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	528 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * (\gamma_q * Q_{k,hyöty} + 1,05 * Q_{k,lumi})$	92 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	620 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

**KT3) MAX kuormitus, 6.10a**

$$\gamma_g = 1,35 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

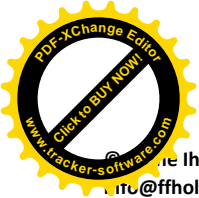
$$\gamma_q = 0,00 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	620 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * \gamma_q * Q_{k,hyöty}$	0 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	620 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

Huomataan, että kuormitustapaus 6.10a aiheuttaa määräävän mitoitusilanteen.

$$N_d = 620 \text{ kN} \quad \text{Pystykuorman suurin mitoitusarvo}$$



Laskennan suoritti: **Liite 2. Paalukuormien laskenta, kohta 2**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**B) Vaakakuormat**

Rakenneosaan, joka ei toimi osana rakennuksen jäykistystä ei vaikuta vaakakuormia.

**C) Paalukuormat**

Koko parveketornin kuorma välittyy kauttaaltaan perustuksen paaluille.

$P_d = N_d$		
$P_d =$	620 kN	Perustuksen pystykuorman mitoitusarvo

**D) Paalujen määrän mitoitus**

Mitoitetaan paalumäärä vastaamaan seinäanturalta välittyvää metrikuormaa.  
Paalujen kantavuus on laskettu Paalutusohje 2016 mukaisesti Liitteessä 5.

- Betonoitu teräsputkipaalu 8/140 S440J2H
- Paalutustyöluokka PTL2
- Paalupituus 23...27 m, kierrejatkokset 2,0 m välein
- Paalujen katkaisutasossa pohjamaan suljettu leikkauslujuus  $C_{uk}=16,5$  kPa
- Pitkä- ja lyhytaikaisen kuorman osuus 90/10

$R_d =$	994 kN	Paalun kantavuus
$n =$	1 kpl	Paalujen määrä anturapoikkileikkauksessa
$G_k =$	418 kN	Pysyvän kuorman ominaisarvo
$Q_k =$	0 kN	Muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\gamma_g =$	1,35	Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	0,00	Muuttuvan kuorman osavarmuus
$\%_g =$	100 %	Pysyvän kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\%_q =$	0 %	Muuttuvan kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\gamma_F =$	1,35	Painotettu kuorman osavarmuuskerroin

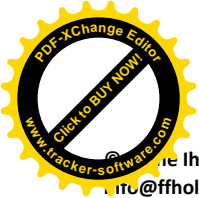
Kohta Nro	Paaluille $P_d$ [kN/m]	Paalukuorma MRT [kN]	Paalukuorma KRT [kN]	Kestävyys [kN]	Käyttöaste %
2	620	620	459	994	62 %

Pienin sallittu paalujako on 800 mm tai  $4 * D$  -> Paalujako vähintään 800 mm.

Paalutuksen määrä vähenee huomattavasti suhteella vanhojen puupaalujen määrään. Samalla paalukuormat kasvavat.

Anturan betonilaatasta on käytössä vain poikkileikkauksen mittatiedot. Raudoituksen tiedot olisivat oleellisia anturan taivutus- ja lävistysmitoituksen tarkastamisen kannalta.

Valetaan rakenteisiin paalujen kohdille raudoitettut kuormansiirtorakenteet.



Laskennan suoritti: *Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3*

Pvm: *Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!*

## SISÄLLYS

### A) Pystykuormat

Pilarianturan kuormitusalueen mittoja, toimistosipi  
Rakennuksen pystykuormat  
Kuormitustapaukset

### B) Vaakakuormat

Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakakuorma, 1/150  
Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli  
Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten  
Rakennuksen vaakakuormat, koonti

### C) Paalukuormat

### D) Paalujen määrän mitoitus

Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

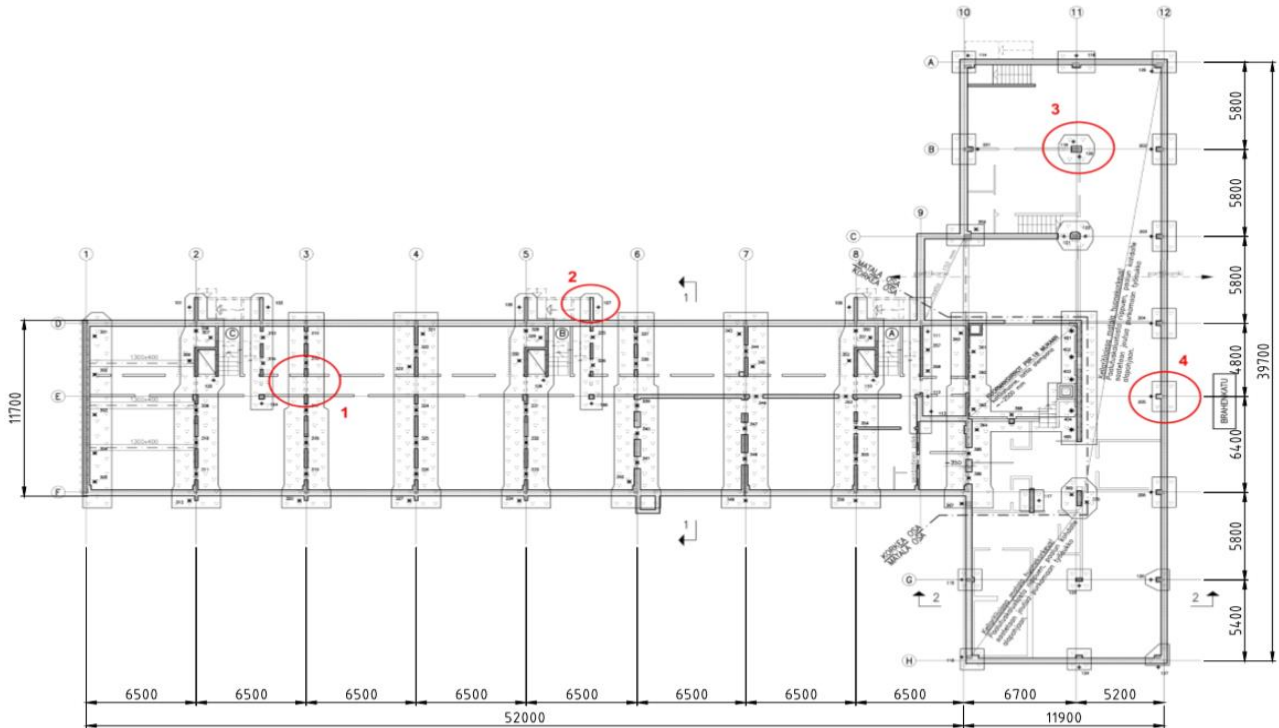
### A) Pystykuormat

Kohdassa 3 on matalan rakennuksen pilariantura, joka toimii osana rakennuksen jäykistystä.

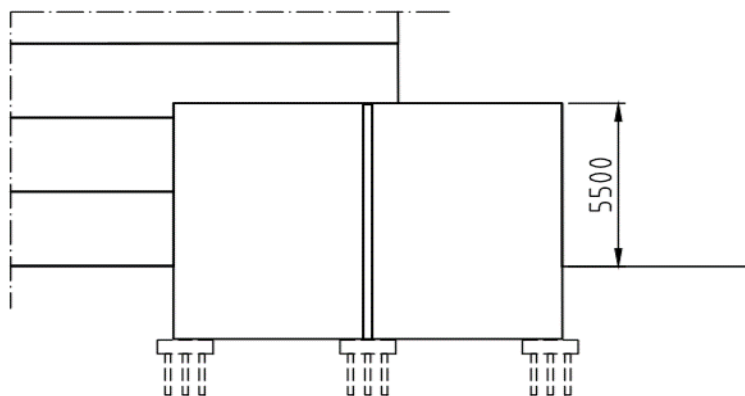
Pilarianturalle välittyvät vaakakuormat aiheuttavat perustukselle kuorman epäkeskeisyyttä lyhyen seinän suunnassa.

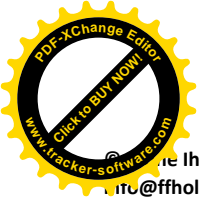
Lasketaan paalukuormat paalukuormat pilarianturan alla.

#### Rakennuksen tasokuva



#### Toimistosivun lyhyen sivun julkisivu





Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### Pilarianturan kuormitusalueen mittoja, toimistosiiipi

$H_{kok}$	=	5,50	m	Talon korkeus maanpinnasta
$L_{kok}$	=	5,80	m	Perustuksen kuormituspituus
$B_{talo}$	=	6,00	m	Perustuksen kuormitusleveys
$n$	=	3		Kerrosten määrä + kellari
$H_k$	=	2,5	m	Yhden kerroksen korkeus
$A_{katto}$	=	35	m <sup>2</sup>	Vesikaton pinta-ala
$A_{vp}$	=	35	m <sup>2</sup>	Välipohjan pinta-ala

### Rakennuksen pystykuormat

Määritetään yhdelle kerrokselle välittyvät pystykuormat

#### Vesikatto

$q_{klumi,0}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorman perusarvo maassa
$\mu_i$	=	0,8		Lumikuorman korjauskerroin katolla, tasakatto
$q_{klumi}$	=	1,6	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma katolla
$Q_{k,lumi}$	=	56	kN	Lumikuorma
$g_{k,katto}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Vesikatteen, eristeiden, puuristikoiden ym. rakenteiden omapaino
$G_{k,katto}$	=	70	kN	Vesikaton omapaino

#### Yläpohja, betonilaatta

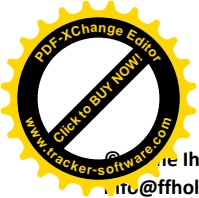
$h_{yp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,yp1}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$G_{k,yp}$	=	174	kN	Omapaino

#### Välipohja, betonilaatta

$h_{vp}$	=	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,l}$	=	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$g_{k,t}$	=	0,5	kN/m <sup>2</sup>	Tasausvalu
$g_{k,vp}$	=	5,5	kN/m <sup>2</sup>	Välipohjalaatan paino
$q_{hyöty}$	=	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Hyötykuorma
$G_{k,vp}$	=	191	kN	Välipohjan omapaino, ontelolaatta
$Q_{k,vp}$	=	70	kN	Välipohjan hyötykuorma

#### Perustukset

$L_a$	=	2,1	m	Anturan pituus
$g_m$	=	5,0	kN	Maatäytön paino anturan päällä
$g_{s4}$	=	91,9	kN	Pilarianturan ja pilarin paino
$G_{k,a}$	=	102	kN	Perustuksen omapaino



Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Koko rakennuksen kuormat**

$$G_{k,kok} = G_{k,katto} + G_{k,yp} + n * G_{k,vp} + G_{k,a}$$

$$G_{k,kok} = 920 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kuorma perustuksen alapinnasta ylöspäin}$$

$$Q_{k,hyöty} = n * Q_{k,vp}$$

$$Q_{k,hyöty,kok} = 209 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kerrosten hyötykuorma, alapohja huomiota}$$

$$Q_{k,lumi} = 56 \text{ kN} \quad \text{Talon lumikuorma}$$

**Kuormitustapaukset**

Tarkastellaan rakennukset pystykuormitusta eri kuormitustapauksissa

Huomataan, että hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma.

**KT1) Käyttörajatila**

$$N_k = G_{k,kok} + Q_{k,hyöty,kok} + Q_{k,lumi}$$

$$N_k = 1185 \text{ kN} \quad \text{Koko talon pystykuormien ominaisarvo}$$

**KT2) MAX kuormitus, 6.10b**

$$\gamma_g = 1,15 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

$$\gamma_q = 1,50 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	1164 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * (\gamma_q * Q_{k,hyöty} + 1,05 * Q_{k,lumi})$	409 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	1573 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

**KT3) MAX kuormitus, 6.10a**

$$\gamma_g = 1,35 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

$$\gamma_q = 0,00 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	1366 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * \gamma_q * Q_{k,hyöty}$	0 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	1366 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

Huomataan, että kuormitustapaus 6.10b aiheuttaa määräävän mitoitusilanteen.

$$N_d = 1573 \text{ kN} \quad \text{Pystykuorman suurin mitoitusarvo}$$

Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### B) Vaakakuormat

Määritetään rakennuksen vaakakuormat tuulesta ja pystykuormien epäkeskeisyydestä.

#### Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakakuorma, 1/150

$V_{Nk,y} = N_k / 150$		
$V_{Nk,y} =$	8 kN	Vaakavoima rakennuksen pitkälle sivulle
$V_{Nd,y} =$	9 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo
$V_{Nk,x} = B / L * N_k / 150$		
$V_{Nk,x} =$	8 kN	Vaakavoima rakennuksen lyhyelle sivulle
$V_{Nd,x} =$	9 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo

#### Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli

VIITE: RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat  
Osa 1.4: Rakenteiden kuormat - Yleiset kuormat. Tuulikuormat

Määritetään rakennuksen ulko- ja sisäpintoihin vaikuttavat tuulenpainet.  
Rakennus sijaitsee kaupungin keskusta-alueella, maastoluokassa IV.

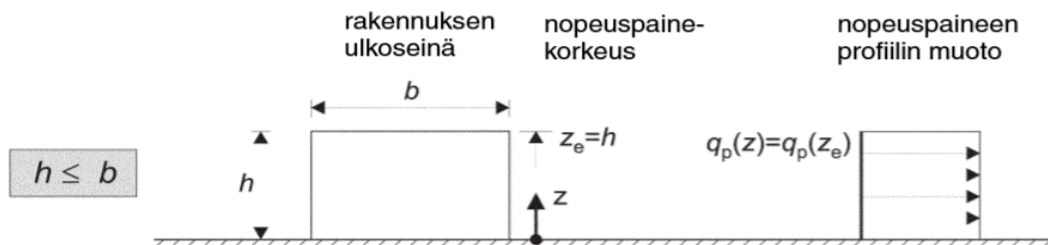
#### Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine

Kun rakennuksen korkeus on suurempi kuin leveys., korkeuden B yläpuolella vaikuttaa suurempi tuulikuorma.  
Yksinkertaistetaan laskelmaa ja mitoitetaan koko seinän korkeus maksimituulikuormalla  $q_p(h)$ .

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pe} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava ulkoinen paine}$$

#### Tuulikuormitus talon pitkää seinää vasten

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pi} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava sisäinen paine}$$



H=	5,50 m	Talon korkeus
D=	5,80 m	Tuulen puoleinen sivu
E=	5,80 m	Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$c_{pe,10}$	$c_{pi}$	$c_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	5,50	0,32	0,8		0,8	0,26	Rakennukseen sisäänpäin
E	5,50	0,32	-0,5		-0,5	-0,16	Rakennuksesta ulospäin
						0,42	

$$A_{ref} = 32 \text{ m}^2 \quad \text{Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = w_{netto} * A_{ref}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = 13 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT}$$

$$Q_{d,tuuli,y} = 20 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT}$$



Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten**

$H = 5,50 \text{ m}$  Talon korkeus  
 $D = 6,00 \text{ m}$  Tuulen puoleinen sivu  
 $E = 6,00 \text{ m}$  Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$C_{pe,10}$	$C_{pi}$	$C_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	5,50	0,32	0,8		0,8	0,26	Rakennukseen sisäänpäin
E	5,50	0,32	-0,5		-0,5	-0,16	Rakennuksesta ulospäin
						0,42	

$A_{ref} = 33 \text{ m}^2$  Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä

$$Q_{k,tuuli,x} = w_{netto} * A_{ref}$$

$Q_{k,tuuli,x} = 14 \text{ kN}$  Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT

$Q_{d,tuuli,x} = 21 \text{ kN}$  Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT

**Rakennuksen vaakakuormat, koonti**

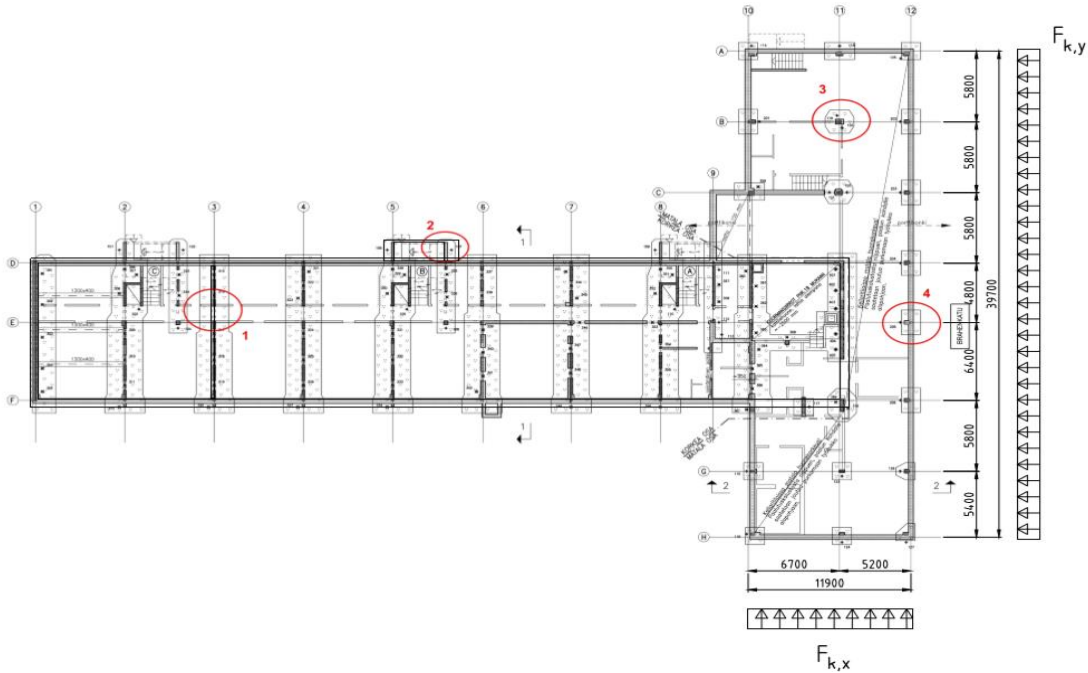
$F_{k,y} = V_{Nk,y} + Q_{k,tuuli,y} = 21 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti pitkää seinää vasten

$F_{d,y} = 29 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

$F_{k,x} = V_{Nk,x} + Q_{k,tuuli,x} = 22 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti lyhyttä seinää vasten

$F_{d,x} = 30 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

X-suuntaisten vaakakuormien voidaan olettaa välittyvän rakennuksen reunoille eivätkä ne rasitua tutkittavaa perustusta.



Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### C) Paalukuormat

Tuulikuormasta ja rakenteiden vinoudesta johtuva vaakakuormitus aiheuttaa rakennukseen pystykuormien epäkeskeisyyttä, joka kasvattaa paalukuormia tuulensuojaisella seinällä.

Lasketaan momenttitasapainon avulla vaakakuormasta aiheutuva pystykuorman lisäys.

$$V_{Nd} = 9 \text{ kN}$$

$$s = 4,0 \text{ m}$$

Omanpainon vaakakuorman mitoitusresultantti  
Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta

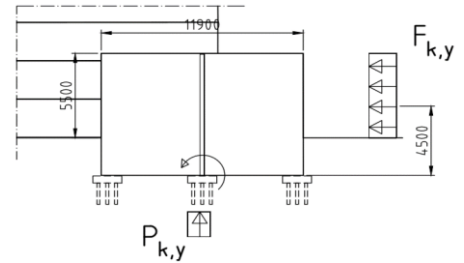
$$Q_{d,tuuli} = 20 \text{ kN}$$

$$s = 4,7 \text{ m}$$

Tuulikuorman mitoitusresultantti  
Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta

$$M_d = V_{Nd} * s_1 + Q_{d,tuuli} * s_2 = 130 \text{ kNm}$$

$$L = 1,4 \text{ m} \quad \text{Paaluväli vaakakuorman suunnassa}$$



$$F_{d,lisä} = M_d / L$$

$$F_{d,lisä} = 92,8 \text{ kN}$$

Momentista aiheutuva kuorman lisäys tuulenpuoleisella sivulla, mitoitusarvo

$$N_d = 1573 \text{ kN}$$

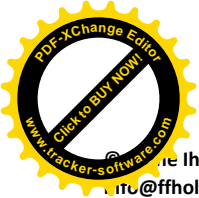
Rakennuksen pystykuorman mitoitusarvo

$$P_d = F_{d,lisä} + N_d / 2$$

$$P_d = 879 \text{ kN/m}$$

Perustuksen pystykuorman mitoitusarvo

Todetaan, että rakennuksen vaakakuormituksella on vähäinen vaikutus paalukuormiin.



Laskennan suoritti: **Liite 3. Paalukuormien laskenta, kohta 3**  
 Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**D) Paalujen määrän mitoitus**

Mitoitetaan paalumäärä vastaamaan yhteenlaskettua paalukuormaa perustuksen tuulensuojaisella sivulla. Paalujen kantavuus on laskettu Paalutusohje 2016 mukaisesti Liitteessä 5.

- Betonoitu teräsputkipaalu 8/115 S440J2H
- Paalutustyöluokka PTL2
- Paalupituus 23...27 m, kierrejatkokset 2,0 m välein
- Paalujen katkaisutasossa pohjamaan suljettu leikkauslujuus  $C_{uk}=16,5$  kPa
- Pitkä- ja lyhytaikaisen kuorman osuus 90/10

$R_d =$	702 kN	Paalun kantavuus
$n =$	2 kpl	Paalujen määrä anturapoikkileikkauksessa
$G_k =$	920 kN	Pysyvän kuorman ominaisarvo
$Q_k =$	264 kN	Muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\gamma_g =$	1,15	Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	1,50	Muuttuvan kuorman osavarmuus
$\%_g =$	78 %	Pysyvän kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\%_q =$	22 %	Muuttuvan kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\gamma_F =$	1,23	Painotettu kuorman osavarmuuskerroin

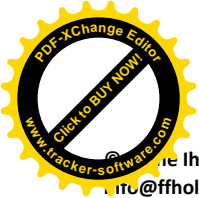
Kohta Nro	Paaluille $P_d$ [kN]	Paalukuorma MRT [kN]	Paalukuorma KRT [kN]	Kestävyys [kN]	Käyttöaste %
3	879	440	358	702	63 %

Pienin sallittu paalujako on 800 mm tai  $4 * D$  -> Paalujako vähintään 800 mm.

Paalutuksen määrä vähenee huomattavasti suhteella vanhojen puupaalujen määrään. Samalla paalukuormat kasvavat.

Anturan betonilaatasta on käytössä vain poikkileikkauksen mittatiedot. Raudoituksen tiedot olisivat oleellisia anturan taivutus- ja lävistysmitoituksen tarkastamisen kannalta.

Valetaan rakenteisiin paalujen kohdille raudoitettut kuormansiirtorakenteet.



Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

## SISÄLLYS

### **A) Pystykuormat**

Pilarianturan kuormitusalueen mittoja, toimistosipi  
Rakennuksen pystykuormat  
Kuormitustapaukset

### **B) Vaakakuormat**

Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakakuorma, 1/150  
Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli  
Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten  
Rakennuksen vaakakuormat, koonti

### **C) Paalukuormat**

### **D) Paalujen määrän mitoitus**

Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

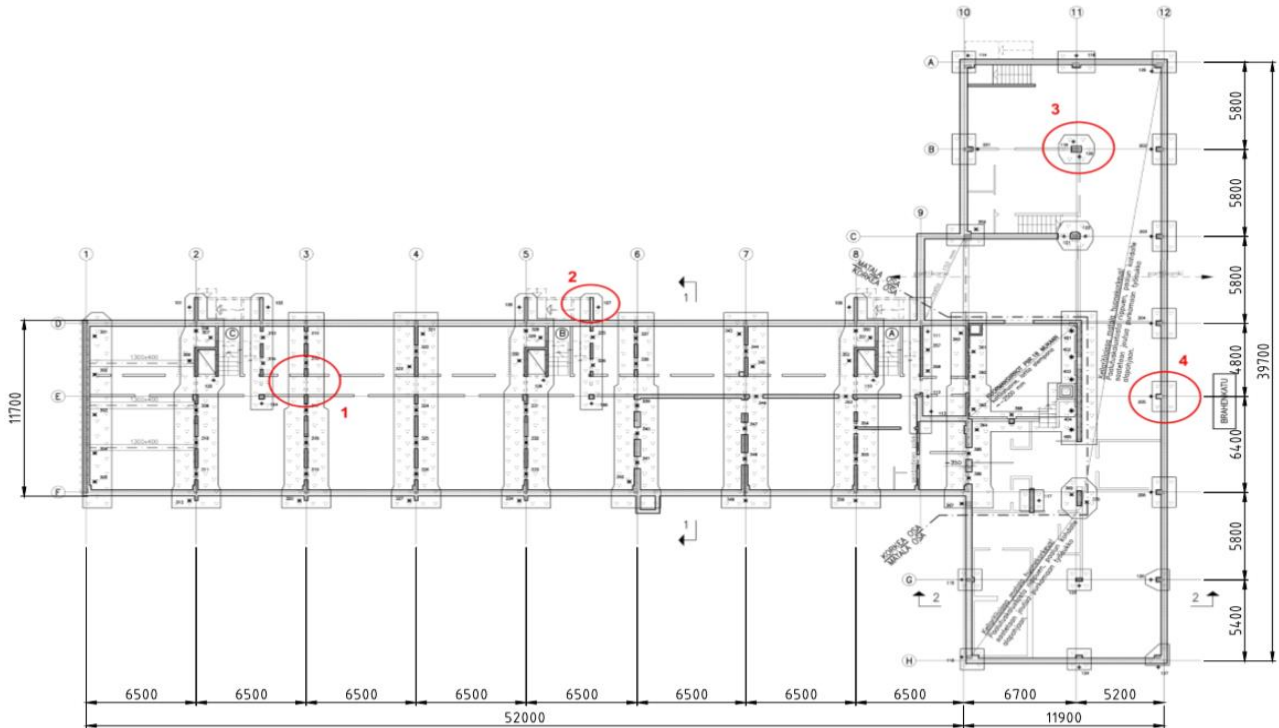
### A) Pystykuormat

Kohdassa 3 on matalan rakennuksen pilariantura, joka toimii osana rakennuksen jäykistystä.

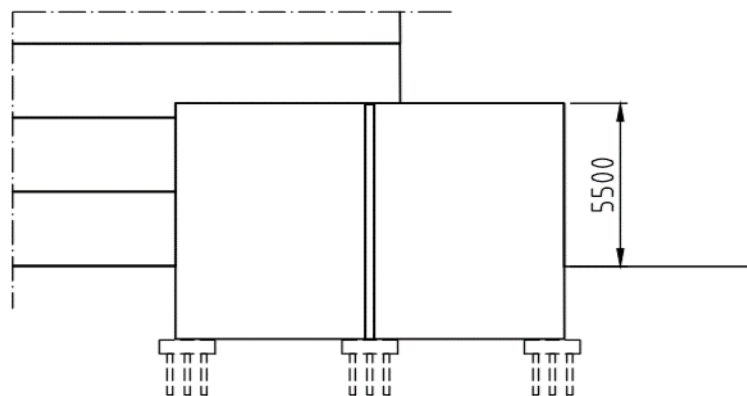
Pilarianturalle välittyvät vaakakuormat aiheuttavat perustukselle kuorman epäkeskeisyyttä lyhyen seinän suunnassa.

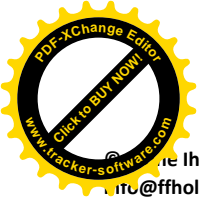
Lasketaan paalukuormat paalukuormat pilarianturan alla.

Rakennuksen tasokuva



Toimistosivun lyhyen sivun julkisivu





Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

#### Pilarianturan kuormitusalueen mittoja, toimistosiiپی

$H_{kok} =$	5,50	m	Talon korkeus maanpinnasta
$L_{kok} =$	2,60	m	Perustuksen kuormituspituus
$B_{talo} =$	5,60	m	Perustuksen kuormitusleveys
$n =$	3		Kerrosten määrä + kellari
$H_k =$	2,8	m	Yhden kerroksen korkeus
$A_{katto} =$	20	m <sup>2</sup>	Vesikaton pinta-ala
$A_{vp} =$	15	m <sup>2</sup>	Välipohjan pinta-ala

#### Rakennuksen pystykuormat

Määritetään yhdelle kerrokselle välittyvät pystykuormat

##### **Vesikatto**

$q_{klumi,0} =$	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorman perusarvo maassa
$\mu_i =$	0,8		Lumikuorman korjauskerroin katolla, tasakatto
$q_{klumi} =$	1,6	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma katolla
$Q_{k,lumi} =$	32	kN	Lumikuorma
$g_{k,katto} =$	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Vesikatteen, eristeiden, puuristikoiden ym. rakenteiden omapaino
$G_{k,katto} =$	40	kN	Vesikaton omapaino

##### **Yläpohja, betonilaatta**

$h_{yp} =$	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,yp1} =$	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$G_{k,yp} =$	101	kN	Omapaino

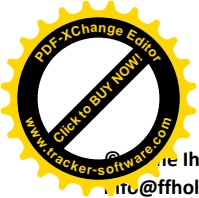
##### **Välipohja, betonilaatta**

$h_{vp} =$	200	mm	Laatan paksuus
$g_{k,l} =$	5,0	kN/m <sup>2</sup>	Laatan paino
$g_{k,t} =$	0,5	kN/m <sup>2</sup>	Tasausvalu
$g_{k,vp} =$	5,5	kN/m <sup>2</sup>	Välipohjalaatan paino
$q_{hyöty} =$	2,0	kN/m <sup>2</sup>	Hyötykuorma
$G_{k,vp} =$	80	kN	Välipohjan omapaino, ontelolaatta
$Q_{k,vp} =$	29	kN	Välipohjan hyötykuorma

##### **Kerroksen seinät**

Lasketaan seinien omapaino. Arvioidaan aukkojen osuudeksi 15 %.

$L_{s1} =$		m	Kantavien ulkoseinien kokonaispituus
$g_{s1} =$		kN/m	Kantavien ulkoseinien metrikuorma, KRT
$L_{se2} =$	5,60	m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien kokonaispituus
$g_{s2} =$	12,9	kN/m	Ei-kantavien ulko- ja väliseinien metrikuorma, KRT
$L_{s3} =$		m	Kantavien väliseinien kokonaispituus
$g_{s4} =$		kN/m	Kantavien väliseinien metrikuorma, KRT
$G_{k,s} =$	72	kN	Kerroksen seinien omapaino



Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Perustukset**

$L_a =$	2,0 m	Anturan pituus
$g_m =$	33,0 kN	Maatytön paino anturan päällä
$g_{s4} =$	74,0 kN	Pilarianturan ja pilarin paino
$G_{k,a} =$	140 kN	Perustuksen omapaino

**Koko rakennuksen kuormat**

$$G_{k,kok} = G_{k,katto} + G_{k,yp} + n * G_{k,vp} + n * G_{k,s} + G_{k,s}$$

$$G_{k,kok} = 738 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kuorma perustuksen alapinnasta ylöspäin}$$

$$Q_{k,hyöty} = n * Q_{k,vp}$$

$$Q_{k,hyöty,kok} = 87 \text{ kN} \quad \text{Koko talon kerrosten hyötykuorma, alapohja huomiota}$$

$$Q_{k,lumi} = 32 \text{ kN} \quad \text{Talon lumikuorma}$$

**Kuormitustapaukset**

Tarkastellaan rakennukset pystykuormitusta eri kuormitustapauksissa

Huomataan, että hyötykuorma on määräävä muuttuva kuorma.

**KT1) Käyttörajatila**

$$N_k = G_{k,kok} + Q_{k,hyöty,kok} + Q_{k,lumi}$$

$$N_k = 858 \text{ kN} \quad \text{Koko talon pystykuormien ominaisarvo}$$

**KT2) MAX kuormitus, 6.10b**

$$\gamma_g = 1,15 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

$$\gamma_q = 1,50 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	934 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * (\gamma_q * Q_{k,hyöty} + 1,05 * Q_{k,lumi})$	181 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	1115 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

**KT3) MAX kuormitus, 6.10a**

$$\gamma_g = 1,35 \quad \text{Pysyvän kuorman osavarmuus}$$

$$\gamma_q = 0,00 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$K_{FI} = 1,1 \quad \text{Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin}$$

$G_{d,kok} = \gamma_g * K_{FI} * G_{k,kok}$	1096 kN	Pys. mitoituskuorma
$Q_{d,kok} = K_{FI} * \gamma_q * Q_{k,hyöty}$	0 kN	Muuttuva mitoituskuorma
$N_d =$	1096 kN	Pystykuorman mitoitusarvo

Huomataan, että kuormitustapaus 6.10b aiheuttaa määräävän mitoitusilanteen.

$$N_d = 1115 \text{ kN} \quad \text{Pystykuorman suurin mitoitusarvo}$$

Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

### B) Vaakakuormat

Määritetään rakennuksen vaakakuormat tuulesta ja pystykuormien epäkeskeisyydestä.

#### Pystykuormien epäkeskeisyydestä johtuva vaakakuorma, 1/150

$V_{Nk,y} = N_k / 150$		
$V_{Nk,y} =$	6 kN	Vaakavoima rakennuksen pitkälle sivulle
$V_{Nd,y} =$	7 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo
$V_{Nk,x} = B / L * N_k / 150$		
$V_{Nk,x} =$	12 kN	Vaakavoima rakennuksen lyhyelle sivulle
$V_{Nd,x} =$	14 kN	Vaakavoiman mitoitusarvo

#### Tuulikuormitus talon pitkälle seinälle, y-suuntainen tuuli

VIITE: RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat  
Osa 1.4: Rakenteiden kuormat - Yleiset kuormat. Tuulikuormat

Määritetään rakennuksen ulko- ja sisäpintoihin vaikuttavat tuulenpainet.  
Rakennus sijaitsee kaupungin keskusta-alueella, maastoluokassa IV.

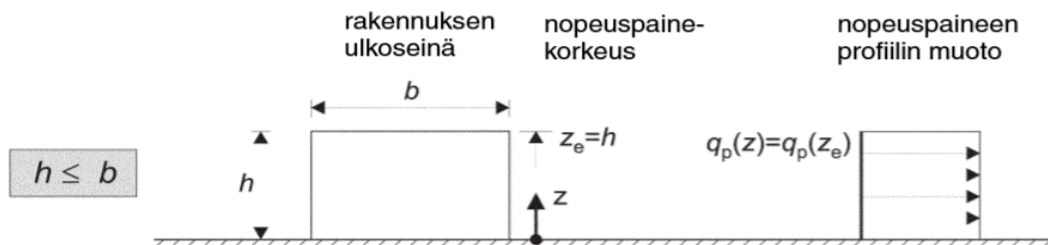
#### Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine

Kun rakennuksen korkeus on suurempi kuin leveys., korkeuden B yläpuolella vaikuttaa suurempi tuulikuorma.  
Yksinkerteistetaan laskelmaa ja mitoitetaan koko seinän korkeus maksimituulikuormalla  $q_p(h)$ .

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pe} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava ulkoinen paine}$$

#### Tuulikuormitus talon pitkää seinää vasten

$$w_H = q_p(z_H) * c_{pi} \quad \text{Yksittäiseen pintaan korkeudella } z_0 \text{ vaikuttava sisäinen paine}$$



H=	5,50 m	Talon korkeus
D=	2,60 m	Tuulen puoleinen sivu
E=	2,60 m	Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$c_{pe,10}$	$c_{pi}$	$c_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	5,50	0,32	0,8		0,8	0,26	Rakennukseen sisäänpäin
E	5,50	0,32	-0,5		-0,5	-0,16	Rakennuksesta ulospäin
						0,42	

$$A_{ref} = 14 \text{ m}^2 \quad \text{Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = w_{netto} * A_{ref}$$

$$Q_{k,tuuli,y} = 6 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT}$$

$$Q_{d,tuuli,y} = 9 \text{ kN} \quad \text{Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT}$$



Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**

Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**Tuulikuormitus talon lyhyttä seinää vasten**

$H=$	5,50 m	Talon korkeus
$D=$	5,60 m	Tuulen puoleinen sivu
$E=$	5,60 m	Tuulen suojassa oleva sivu

SIVU	H	$q_p(h)$	$C_{pe,10}$	$C_{pi}$	$C_{p,netto}$	$w_{netto}$	
D	5,50	0,32	0,8		0,8	0,26	Rakennukseen sisäänpäin
E	5,50	0,32	-0,5		-0,5	-0,16	Rakennuksesta ulospäin
						0,42	

$A_{ref} = 31 \text{ m}^2$  Tuulen vaikutuspinta-ala tuulenpuoleisella seinällä

$Q_{k,tuuli,x} = w_{netto} * A_{ref}$

$Q_{k,tuuli,x} = 13 \text{ kN}$  Tuulikuorman resultantti koko seinälle, KRT

$Q_{d,tuuli,x} = 19 \text{ kN}$  Tuulikuorman mitoitusresultantti koko seinälle, KRT

**Rakennuksen vaakakuormat, koonti**

$F_{k,y} = V_{Nk,y} + Q_{k,tuuli,y} = 12 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti pitkää seinää vasten

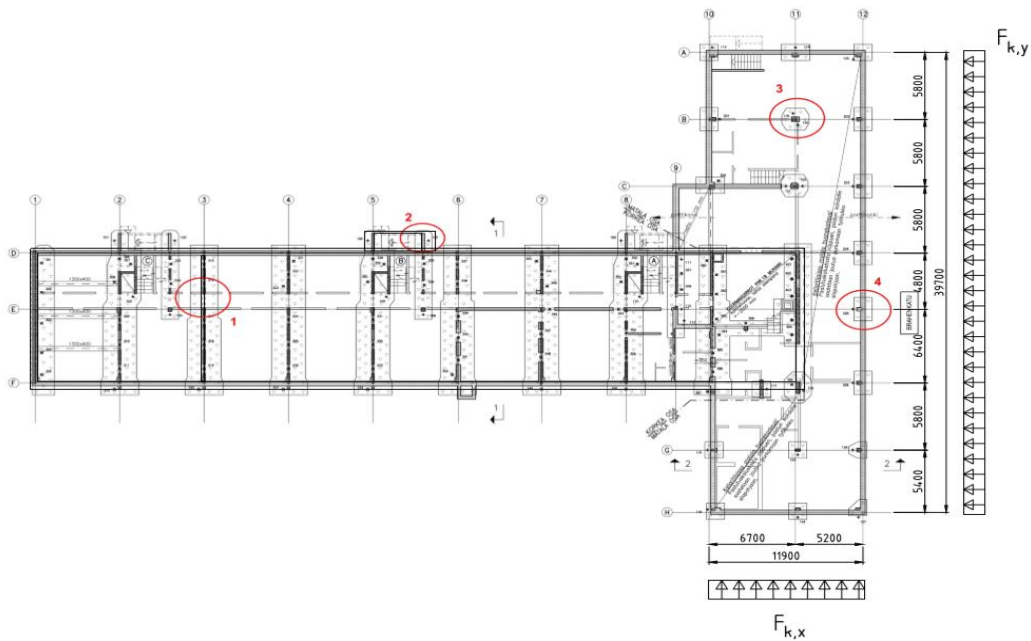
$F_{d,y} = 16 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

$F_{k,x} = V_{Nk,x} + Q_{k,tuuli,x} = 25 \text{ kN}$  Vaakakuorman resultantti lyhyttä seinää vasten

$F_{d,x} = 33 \text{ kN}$  Vaakakuorman mitoitusarvo

Y-suuntaisten vaakakuormien voidaan olettaa välittyvän rakennuksen keskellä sijaitseville anturoille.

X-suuntaiset vaakakuormat kuormittavat tutkittavaa perustusta.



Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**  
 Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**C) Paalukuormat**

Tuulikuormasta ja rakenteiden vinoudesta johtuva vaakakuormitus aiheuttaa rakennukseen pystykuormien epäkeskeisyyttä, joka kasvattaa paalukuormia tuulensuojaisella seinällä.

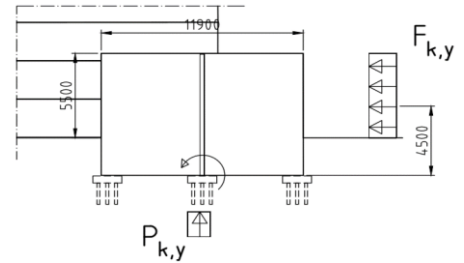
Lasketaan momenttitasapainon avulla vaakakuormasta aiheutuva pystykuorman lisäys.

$V_{Nd} = 14 \text{ kN}$  Omanpainon vaakakuorman mitoitusresultantti  
 $s = 4,0 \text{ m}$  Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta

$Q_{d,tuuli} = 19 \text{ kN}$  Tuulikuorman mitoitusresultantti  
 $s = 4,7 \text{ m}$  Kuormaresultantin etäisyys paalutustasosta

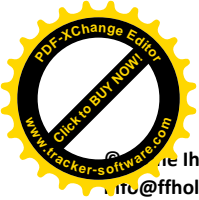
$M_d = V_{Nd} * s_1 + Q_{d,tuuli} * s_2 = 147 \text{ kNm}$

$L = 1,4 \text{ m}$  Paaluväli vaakakuorman suunnassa



$F_{d,lisä} = M_d / L$		
$F_{d,lisä} = 105,0 \text{ kN}$		Momentista aiheutuva kuorman lisäys tuulenpuoleisella sivulla, mitoitusarvo
$N_d = 1115 \text{ kN}$		Rakennuksen pystykuorman mitoitusarvo
$P_d = F_{d,lisä} + N_d / 2$		
$P_d = 663 \text{ kN/m}$		Perustuksen pystykuorman mitoitusarvo

Todetaan, että rakennuksen vaakakuormituksella on vähäinen vaikutus paalukuormiin.



Laskennan suoritti: **Liite 4. Paalukuormien laskenta, kohta 4**  
Pvm: **Muuta arvoja vain keltaisiin kenttiin!**

**D) Paalujen määrän mitoitus**

Mitoitetaan paalumäärä vastaamaan yhteenlaskettua paalukuormaa perustuksen tuulensuojaisella sivulla. Paalujen kantavuus on laskettu Paalutusohje 2016 mukaisesti Liitteessä 5.

- Betonoitu teräsputkipaalu 8/115 S440J2H
- Paalutustyöluokka PTL2
- Paalupituus 23...27 m, kierrejatkokset 2,0 m välein
- Paalujen katkaisutasossa pohjamaan suljettu leikkauslujuus  $C_{uk}=16,5$  kPa
- Pitkä- ja lyhytaikaisen kuorman osuus 90/10

$R_d =$	702 kN	Paalun kantavuus
$n =$	2 kpl	Paalujen määrä anturapoikkileikkauksessa
$G_k =$	738 kN	Pysyvän kuorman ominaisarvo
$Q_k =$	120 kN	Muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\gamma_g =$	1,15	Pysyvän kuorman osavarmuus
$\gamma_q =$	1,50	Muuttuvan kuorman osavarmuus
$\%_g =$	86 %	Pysyvän kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\%_q =$	14 %	Muuttuvan kuorman prosenttiosuus kokonaiskuormasta
$\gamma_F =$	1,20	Painotettu kuorman osavarmuuskerroin

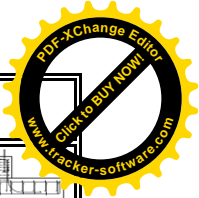
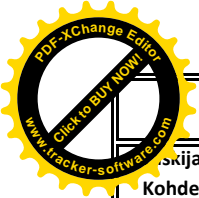
Kohta Nro	Paaluille $P_d$ [kN]	Paalukuorma MRT [kN]	Paalukuorma KRT [kN]	Kestävyys [kN]	Käyttöaste %
4	663	331	276	702	47 %

Pienin sallittu paalujako on 800 mm tai  $4 * D$  -> Paalujako vähintään 800 mm.

Paalutuksen määrä vähenee huomattavasti suhteella vanhojen puupaalujen määrään. Samalla paalukuormat kasvavat.

Anturan betonilaatasta on käytössä vain poikkileikkauksen mittatiedot. Raudoituksen tiedot olisivat oleellisia anturan taivutus- ja lävistysmitoituksen tarkastamisen kannalta.

Valetaan rakenteisiin paalujen kohdille raudoitettut kuormansiirtorakenteet.



Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Projekti: LIITE 5  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

**A) Lähtötiedot**

Lasketaan betonoidun porapaalun kantavuus. Paalu tukeutuu kallioon.

Valitse seuraavat muuttujat alusvetovalikoista:

Toteutusluokka: **2**

Betoni: **C35/45** Mitoitetaan betonoitu paalu, korroosio vaikuttaa vain seinämän ulkopinnalla.

Paalun teräslujuus: **S440J2H**

$D = 115,0 \text{ mm}$  Paalun teoreettinen halkaisija  
 $t = 8,0 \text{ mm}$  Paalun seinämävahvuus  
 $t_k = 1,2 \text{ mm}$  Paalun korroosiovara yhtä pintaa kohden  
 $d_{eff} = 112,6 \text{ mm}$  Paalun tehokas halkaisija

$s_u = c_u = 17 \text{ kPa}$  Pohjamaan suljettu leikkauslujuus  
 $\beta = 50$  Alustaluvun kerroin, hienorakeinen maa 20...50, geotekninen luokka GL2, pitk.aik.  
 $k_s = \beta * c_u / d_{eff}$   
 $k_s = 7327 \text{ kN/m}^3$  Alustaluku

Mitoitetaan paalu teräksen ja betonin liittorakenteena. Lasketaan paalun poikkileikkausarvot. Huomioidaan korroosio. Laskenta huomioi betonoidulla teräsputkipaalulla korroosion vain ulkopinnassa.

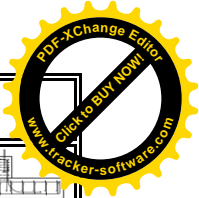
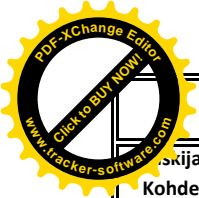
Teräsputki	Betoni	Yhteensä
$A_s = 2260 \text{ mm}^2$	$A_c = 7698 \text{ mm}^2$	$A_{tot} = 9958 \text{ mm}^2$
$I_s = 3175529 \text{ mm}^4$	$I_c = 4715315 \text{ mm}^4$	$(EI)_{eff} = 763 \text{ kNm}^2$
$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 34077 \text{ N/mm}^2$	$(EA)_{eff} = 632 \text{ MN}$
$f_y = 440 \text{ N/mm}^2$	$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$	
$E_s I_s = 667 \text{ kNm}^2$	$E_{cm} I_s = 161 \text{ kNm}^2$	

**Pikamitoitus**

Paalun puristuskestävyys	$R_{Ed} \text{ [kN]}$
Maa murtuu	702
Paalu nurjahtaa	798
Kallio murtuu	3221

**Kantavuutta vastaava kimmoinen kokoonpuristuma**

$L = 27 \text{ m}$	Paalupituus
$F_k = 459 \text{ kN}$	Suurin paalukuorma
$\Delta L = F_k * L / EA$	Pohjamaan suljettu leikkauslujuus
$\Delta L = 19,6 \text{ mm}$	Paalun kimmoinen kokoonpuristuma, esijännityksessä tavoiteltava kokoonpuristuma



Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Projekti: LIITE 5  
Kohde:  
Pvm:

V.19.11.2018  
© Janne Iho  
janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
Janne Iho

**B) Osavarmuuskertoimet ja materiaalilujuudet**

**Geotekniset varmuuskertoimet**

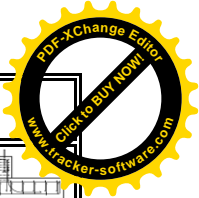
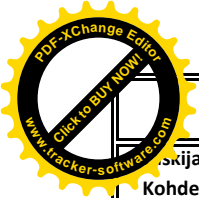
$\gamma_{c,u}$ =	1,00	Maan leikkauslujuuden osavarmuusluku
$\gamma_{R,e}$ =	1,50	Nurjandustarkastelussa paalun kestävyden osavarmuusluku
$c_{u,d}$ =	16,50 kPa	Pohjamaan suljettu leikkauslujuus, mitoitusarvo

**Betoni**

$\gamma_c$ =	1,50	Betonin osavarmuusluku toteutusluokan mukaan
$f_{ck}$ =	35,00 N/mm <sup>2</sup>	Ominaispuristuslujuus
$f_{ctm}$ =	3,21 N/mm <sup>2</sup>	Ominaisvetolujuus
$f_{ctk,0,05}$ =	2,25 N/mm <sup>2</sup>	Vetolujuus, 5% fraktiili
$E_{cm}$ =	34077 N/mm <sup>2</sup>	Kimmokerroin
$f_{cd}$ =	19,83 N/mm <sup>2</sup>	Mitoituspuristuslujuus
$f_{ctd}$ =	1,50 N/mm <sup>2</sup>	Mitoitusvetolujuus

**Paalu**

$\gamma_k$ =	1,00	Teräsosavarmuus
$f_{yk}$ =	440 N/mm <sup>2</sup>	Raudoitteen ominaislujuus
$f_{yd}$ =	440 N/mm <sup>2</sup>	Raudoitteen laskentalujuus
$E_s$ =	210000 N/mm <sup>2</sup>	Raudoituksen kimmokerroin



Asiointi: LIITE 5  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

**C) Paalujen rakenteellinen mitoitus, maa murtuu**

$k_s = 7327 \text{ kN/m}^3$  Alustaluku

$F_{cr} = 2 * \sqrt{k_s * d_{eff} * EI}$   
 $F_{cr} = 1587 \text{ kN}$  Suoran paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa

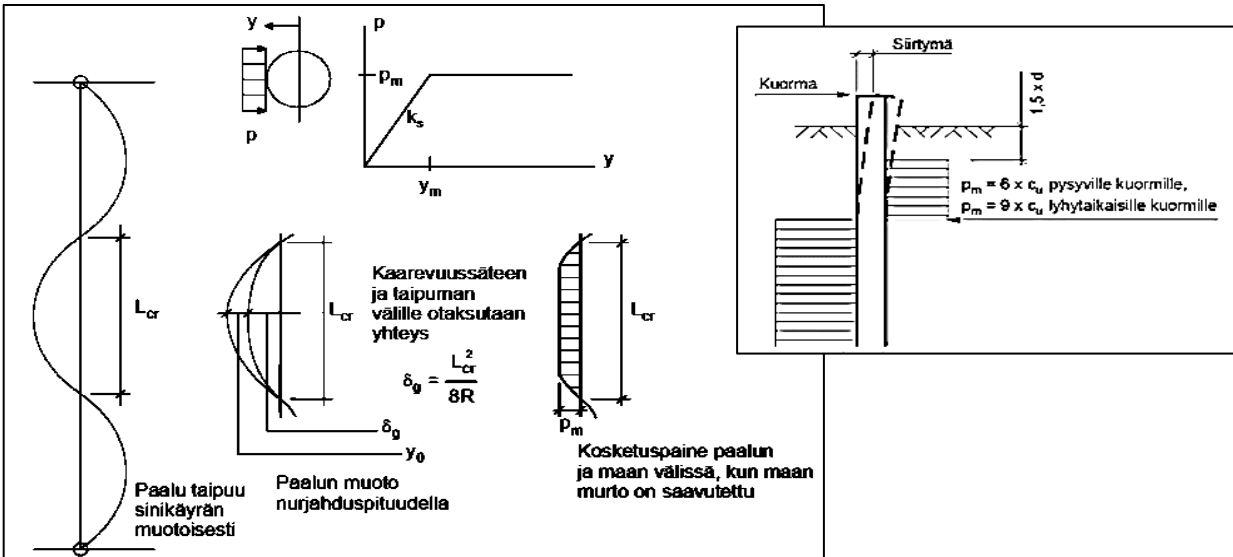
$L_{cr} = \pi * \sqrt[4]{EI / (k_s * d_{eff})}$   
 $L_{cr} = 3,081 \text{ m}$  Kriittinen nurjahduspituus

$R = 2000 * d_{eff}$  Paalun kaarevuussäde, kokemusperäinen arvo  
 $\sigma_g = L_{cr}^2 / (8 * R)$   
 $\sigma_g = 5,3 \text{ mm}$  Geometrinen alkutaipuma

Käytetään alkutaipumana vähintään Paalutusohjeen mukaista vähimmäisarvoa  $L_{cr} / (300...600)$

450

$R = 6,8 \text{ mm}$  Paalun kaarevuussäde, kokemusperäinen arvo

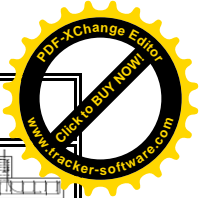
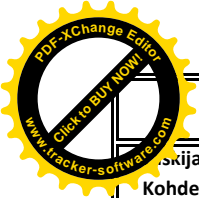


Lasketaan taipuneen paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa.

$p_m = 6 * c_u$   
 $p_m = 99 \text{ kPa}$  Hienorakeisen maan sivuvastuksen ääriarvo paalulle (ominaisarvo)

$F_{d,s} = F_{cr} / ((1 + (k_s * / p_m)) * \gamma_{R,e})$   
 $F_{d,s} = 702 \text{ kPa}$  Hienorakeisen maan sivuvastuksen ääriarvo paalulle (mitoitusarvo)

$q_{d,p} = 71 \text{ MPa}$  Em. kestävyyttä vastaava mitoituskärkipaine paalun ja kallion välissä



Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Asiaja: LIITE 5  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

**D) Paalujen rakenteellinen mitoitus, paalun taivutusmurtokestävyys ylittyy**

Huomioidaan teräspaalun valmistuksesta aiheutuvat jäännösjännitykset ja alkukäyryys fiktiivisenä alkutaipumana.

$$\sigma_f = 0,0013 * L_{cr}$$

$$\sigma_f = 4,0 \text{ mm} \quad \text{Fiktiivinen alkutaipuma}$$

$$\sigma_g = 6,8 \text{ mm} \quad \text{Geometrinen alkutaipuma}$$

$$\sigma_0 = \sigma_g + \sigma_f$$

$$\sigma_0 = 10,9 \text{ mm} \quad \text{Alkutaipuma}$$

Lasketaan paalupoikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvot

**Betoni:**  $F_{c,u,c} = A_c * f_{cd} = 153 \text{ kN}$   
**Teräsputki:**  $F_{u,s1} = A_s * f_{yd} = 994 \text{ kN}$   
**Raudoitus:**  $F_{u,s2} = A_{s2} * f_{yd2} = 0 \text{ kN}$

$$F_{c,u} = F_{c,u,c} + F_{u,s1} + F_{u,s2}$$

$$F_{c,u} = 1147 \text{ kN} \quad \text{Paalupoikkileikkauksen mitoituspuristuskestävyys ilman nurjadhusta}$$

$$\alpha_c = F_{c,u,c} / F_{c,u}$$

$$\alpha_c = 13 \% \text{ ok}$$

Rakenne voidaan mitoittaa betonitäyteisenä liittorakennepilarina, kun  $0,1 < \alpha_c < 0,8$

$$F_{d,p} = B / 2 - \sqrt{B^2 / 4 - C}$$

$$B = F_{cr} + F_{c,u} + 0,5 * F_{cr} * \sigma_0 * (F_{c,u} - F_{c,u,c}) / M_u$$

$$C = F_{cr} * F_{c,u}$$

$$M_u = f_{yd} * I_s / (d_{eff} / 2)$$

$$B = 3079 \text{ kN} \quad \text{Aputermi}$$

$$C = 1820615 \quad \text{Aputermi}$$

$$M_u = 24,8 \text{ kNm} \quad \text{Teräsputken mitoitusaituuskestävyys}$$

$$F_{d,p} = 798 \text{ kN} \quad \text{Rakenteellinen mitoituspuristuskestävyys}$$

$$q_{d,p} = 80 \text{ MPa} \quad \text{Em. kestävyyttä vastaava mitoituskärkipaine paalun ja kallion välissä}$$

**E) Paalujen rakenteellinen mitoitus, paalun taivutusmurtokestävyys ylittyy**

Lasketaan paalun sallittu geoteknisen kärkekestävyyden ominaisarvo.

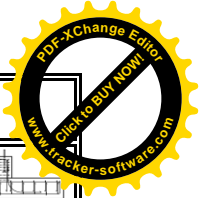
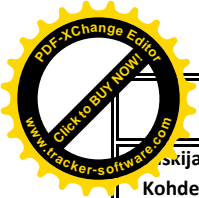
$$q_{b,k} = 7 * \sigma_{cyl} / d_{eff}^{0,2}$$

$$\sigma_{cyl} = 150 \text{ Mpa} \quad \text{Suomalaisten syväkivilajien yksiakiaalinen puristuslujuus 150...300 Mpa}$$

$$\gamma_r = 2,00 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$q_{b,k} = 323 \text{ MPa} \quad \text{Kallion ja paalun välinen mitoituskärkipaine}$$

$$F_{d,r} = 3221 \text{ kN} \quad \text{Rakenteellinen mitoituspuristuskestävyys}$$



## Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Projekti: **LIITE 6**  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

### A) Lähtötiedot

Lasketaan betonoidun porapaalun kantavuus. Paalu tukeutuu kallioon.

Valitse seuraavat muuttujat alusvetovalikoista:

Toteutusluokka: **2**

Betoni: **C35/45** Mitoitetaan betonoitu paalu, korrosio vaikuttaa vain seinämän ulkopinnalla.

Paalun teräslujuus: **S550J2H**

$D = 140,0 \text{ mm}$  Paalun teoreettinen halkaisija  
 $t = 8,0 \text{ mm}$  Paalun seinämävahvuus  
 $t_k = 1,2 \text{ mm}$  Paalun korrosiovara yhtä pintaa kohden  
 $d_{eff} = 137,6 \text{ mm}$  Paalun tehokas halkaisija

$s_u = c_u = 17 \text{ kPa}$  Pohjamaan suljettu leikkauslujuus  
 $\beta = 50$  Alustaluvun kerroin, hienorakeinen maa 20...50, geotekninen luokka GL2, pitk.aik.  
 $k_s = \beta * c_u / d_{eff}$   
 $k_s = 5996 \text{ kN/m}^3$  Alustaluku

Mitoitetaan paalu teräksen ja betonin liittorakenteena. Lasketaan paalun poikkileikkausarvot. Huomioidaan korrosio. Laskenta huomioi betonoidulla teräsputkipaalulla korroosion vain ulkopinnassa.

Teräsputki	Betoni	Yhteensä
$A_s = 2794 \text{ mm}^2$	$A_c = 12076 \text{ mm}^2$	$A_{tot} = 14871 \text{ mm}^2$
$I_s = 5991895 \text{ mm}^4$	$I_c = 11605307 \text{ mm}^4$	$(EI)_{eff} = 1496 \text{ kNm}^2$
$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 34077 \text{ N/mm}^2$	$(EA)_{eff} = 834 \text{ MN}$
$f_y = 550 \text{ N/mm}^2$	$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$	
$E_s I_s = 1258 \text{ kNm}^2$	$E_{cm} I_s = 395 \text{ kNm}^2$	

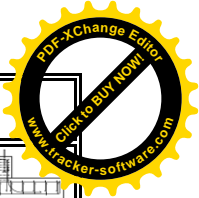
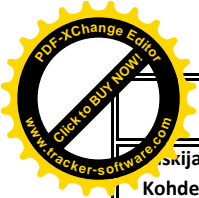
### Pikamitoitus

Paalun puristuskestävyys	$R_{Ed} \text{ [kN]}$
Maa murtuu	994
Paalu nurjahtaa	1219
Kallio murtuu	4621

### Kantavuutta vastaava kimmoinen kokoonpuristuma

$L = 27 \text{ m}$	Paalupituus
$F_k = 673 \text{ kN}$	Suurin paalukuorma
$\Delta L = F_k * L / EA$	Pohjamaan suljettu leikkauslujuus
$\Delta L = 21,8 \text{ mm}$	Paalun kimmoinen kokoonpuristuma, esijännityksessä tavoiteltava kokoonpuristuma





Betonoidun teräsputkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Asiointi: LIITE 6  
Kohde:  
Pvm:

V.19.11.2018  
© Janne Iho  
janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
Janne Iho

**B) Osavarmuuskertoimet ja materiaalilujuudet**

**Geotekniset varmuuskertoimet**

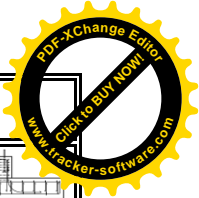
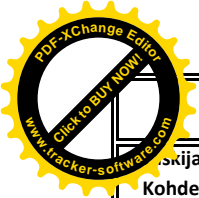
$\gamma_{c,u} =$	1,00	<i>Maan leikkauslujuuden osavarmuusluku</i>
$\gamma_{R,e} =$	1,50	<i>Nurjandustarkastelussa paalun kestävyden osavarmuusluku</i>
$c_{u,d} =$	16,50 kPa	<i>Pohjamaan suljettu leikkauslujuus, mitoitusarvo</i>

**Betoni**

$\gamma_c =$	1,50	<i>Betonin osavarmuusluku toteutusluokan mukaan</i>
$f_{ck} =$	35,00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Ominaispuristuslujuus</i>
$f_{ctm} =$	3,21 N/mm <sup>2</sup>	<i>Ominaisvetolujuus</i>
$f_{ctk,0,05} =$	2,25 N/mm <sup>2</sup>	<i>Vetolujuus, 5% fraktiili</i>
$E_{cm} =$	34077 N/mm <sup>2</sup>	<i>Kimmokerroin</i>
$f_{cd} =$	19,83 N/mm <sup>2</sup>	<i>Mitoituspuristuslujuus</i>
$f_{ctd} =$	1,50 N/mm <sup>2</sup>	<i>Mitoitusvetolujuus</i>

**Paalu**

$\gamma_k =$	1,00	<i>Teräsosavarmuus</i>
$f_{yk} =$	550 N/mm <sup>2</sup>	<i>Raudoitteen ominaislujuus</i>
$f_{yd} =$	550 N/mm <sup>2</sup>	<i>Raudoitteen laskentalujuus</i>
$E_s =$	210000 N/mm <sup>2</sup>	<i>Raudoituksen kimmokerroin</i>



Projekti: LIITE 6  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

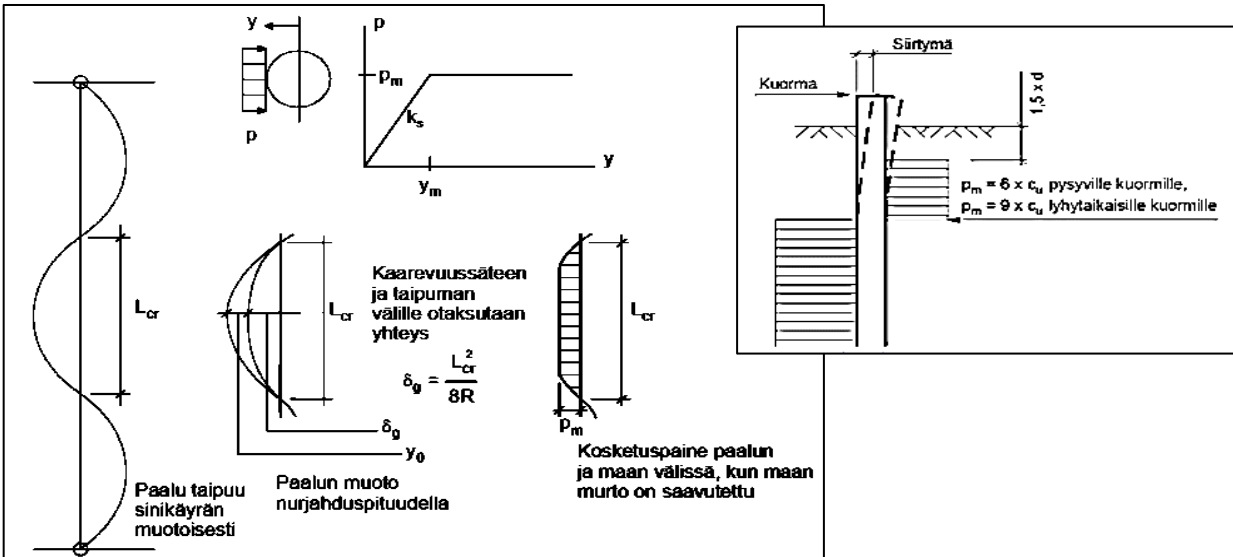
**C) Paalujen rakenteellinen mitoitus, maa murtuu**

$k_s = 5996 \text{ kN/m}^3$  Alustaluku  
 $F_{cr} = 2 * \sqrt{k_s * d_{eff} * EI}$   
 $F_{cr} = 2222 \text{ kN}$  Suoran paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa  
 $L_{cr} = \pi * \sqrt[4]{EI / (k_s * d_{eff})}$   
 $L_{cr} = 3,645 \text{ m}$  Kriittinen nurjahduspituus  
 $R = 2000 * d_{eff}$  Paalun kaarevuussäde, kokemusperäinen arvo  
 $\sigma_g = L_{cr}^2 / (8 * R)$   
 $\sigma_g = 6,0 \text{ mm}$  Geometrinen alkutaipuma

Käytetään alkutaipumana vähintään Paalutusohjeen mukaista vähimmäisarvoa  $L_{cr} / (300...600)$

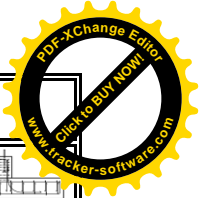
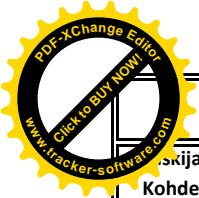
450

$R = 8,1 \text{ mm}$  Paalun kaarevuussäde, kokemusperäinen arvo



Lasketaan taipuneen paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa.

$p_m = 6 * c_u$   
 $p_m = 99 \text{ kPa}$  Hienorakeisen maan sivuvastuksen ääriarvo paalulle (ominaisarvo)  
 $F_{d,s} = F_{cr} / ((1 + (k_s * / p_m)) * \gamma_{R,e})$   
 $F_{d,s} = 994 \text{ kPa}$  Hienorakeisen maan sivuvastuksen ääriarvo paalulle (mitoitusarvo)  
 $q_{d,p} = 67 \text{ MPa}$  Em. kestävyyttä vastaava mitoituskärkipaine paalun ja kallion välissä



Betonoidun teräspalkkipaalun mitoitus / EC + PO-2011

Asiointi: LIITE 6  
 Kohde:  
 Pvm:

V.19.11.2018  
 © Janne Iho  
 janne.iho@rakennepiirustuksia.fi

Tmi  
 Janne Iho

**D) Paalujen rakenteellinen mitoitus, paalun taivutusmurtokestävyys ylittyy**

Huomioidaan teräspaalun valmistuksesta aiheutuvat jäännösjännitykset ja alkukäyryys fiktiivisenä alkutaipumana.

$$\sigma_f = 0,0013 * L_{cr}$$

$$\sigma_f = 4,7 \text{ mm} \quad \text{Fiktiivinen alkutaipuma}$$

$$\sigma_g = 8,1 \text{ mm} \quad \text{Geometrinen alkutaipuma}$$

$$\sigma_0 = \sigma_g + \sigma_f$$

$$\sigma_0 = 12,8 \text{ mm} \quad \text{Alkutaipuma}$$

Lasketaan paalupoikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvot

**Betoni:**  $F_{c,u,c} = A_c * f_{cd} = 240 \text{ kN}$   
**Teräspalkki:**  $F_{u,s1} = A_s * f_{yd} = 1537 \text{ kN}$   
**Raudoitus:**  $F_{u,s2} = A_{s2} * f_{yd2} = 0 \text{ kN}$

$$F_{c,u} = F_{c,u,c} + F_{u,s1} + F_{u,s2}$$

$$F_{c,u} = 1776 \text{ kN} \quad \text{Paalupoikkileikkauksen mitoituspuristuskestävyys ilman nurjahdusta}$$

$$\alpha_c = F_{c,u,c} / F_{c,u}$$

$$\alpha_c = 13 \% \text{ ok}$$

Rakenne voidaan mitoittaa betonitäyteisenä liittorakennepilarina, kun  $0,1 < \alpha_c < 0,8$

$$F_{d,p} = B / 2 - \sqrt{B^2 / 4 - C}$$

$$B = F_{cr} + F_{c,u} + 0,5 * F_{cr} * \sigma_0 * (F_{c,u} - F_{c,u,c}) / M_u$$

$$C = F_{cr} * F_{c,u}$$

$$M_u = f_{yd} * I_s / (d_{eff} / 2)$$

$$B = 4456 \text{ kN} \quad \text{Aputermi}$$

$$C = 3946318 \quad \text{Aputermi}$$

$$M_u = 47,9 \text{ kNm} \quad \text{Teräspalkin mitoitusmomentti}$$

$$F_{d,p} = 1219 \text{ kN} \quad \text{Rakenteellinen mitoituspuristuskestävyys}$$

$$q_{d,p} = 82 \text{ MPa} \quad \text{Em. kestävyyttä vastaava mitoituskärkipaine paalun ja kallion välissä}$$

**E) Paalujen rakenteellinen mitoitus, paalun taivutusmurtokestävyys ylittyy**

Lasketaan paalun sallittu geoteknisen kärkikestävyuden ominaisarvo.

$$q_{b,k} = 7 * \sigma_{cyl} / d_{eff}^{0,2}$$

$$\sigma_{cyl} = 150 \text{ Mpa} \quad \text{Suomalaisten syväkivilajien yksiakiaalinen puristuslujuus 150...300 Mpa}$$

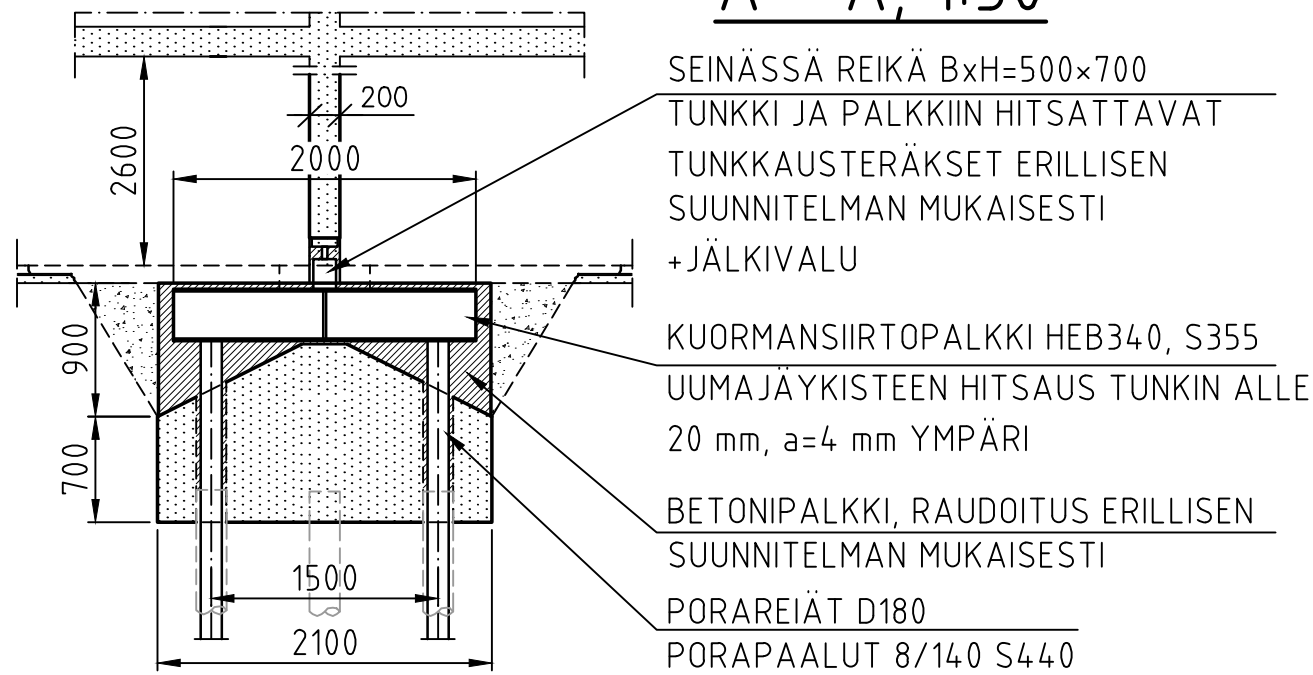
$$\gamma_r = 2,00 \quad \text{Muuttuvan kuorman osavarmuus}$$

$$q_{b,k} = 311 \text{ MPa} \quad \text{Kallion ja paalun välinen mitoituskärkipaine}$$

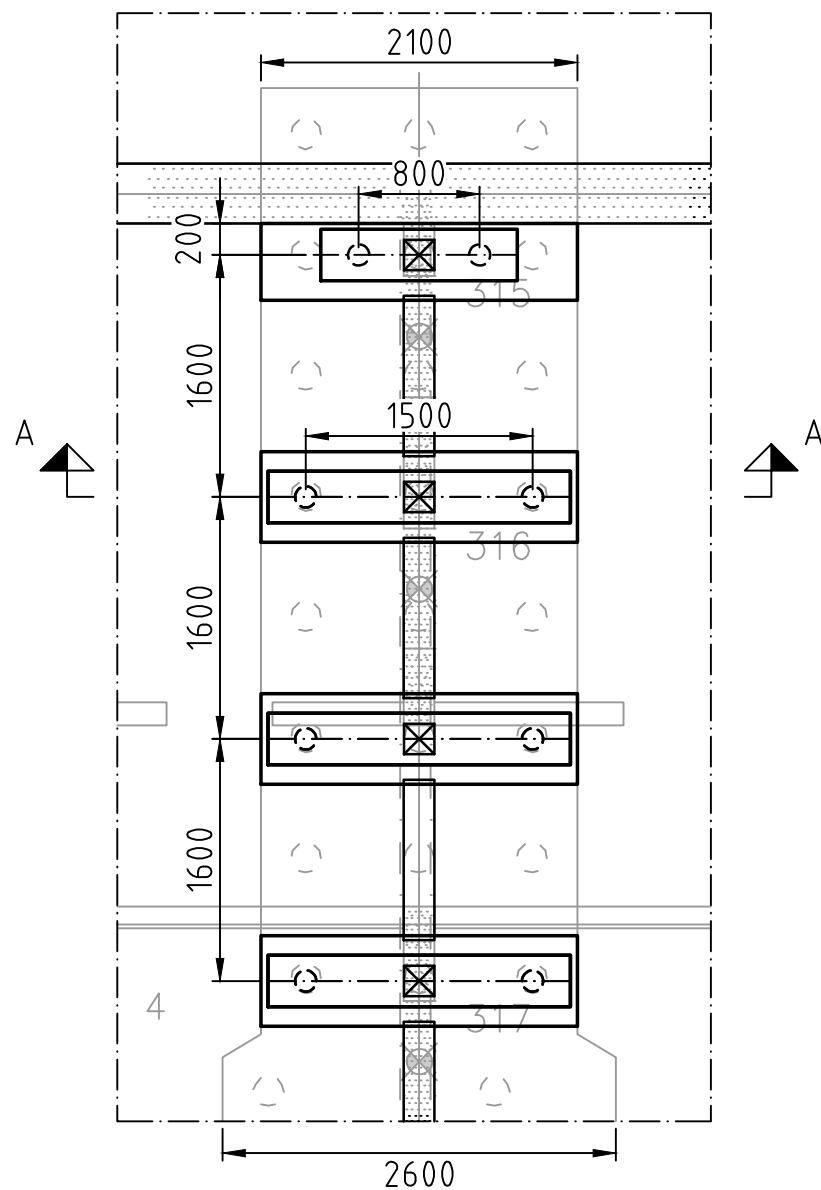
$$F_{d,r} = 4621 \text{ kN} \quad \text{Rakenteellinen mitoituspuristuskestävyys}$$



# A - A, 1:50



# PERUSTUKSEN TASOKUVA 1:50



LATTIA PURETAAN TARVITTAVALTA LEVEYDELTÄ. PURUSSA HUOMIOITAVA RIITTÄVÄ  
VEDENERISTEEN LIMITYS UUTTA LAATTA VALETTAESSA.

PORAPAALUT ASENNETAAN ANTURAAN TIMANTTIPORATTUJEN REIKIEN KAUTTA, PORAUUS  
KALLIOON 4xD. PAALUT BETONOIDAAN UMPEEN KORKOON (KATKAISUTASO - 50 mm).

KANTAVAN SEINÄN LÄPI AUKAISTAAN TIMANTTISAHAAMALLA REIKÄ  
KUORMANSIIRTOPALKKIAVARTEN. PAALUJEN YLÄPÄÄT HITSATAAN TERÄSPALKKIIN a=4  
YMPÄRI. KUORMANSIIRTOPALKIT TUNKATAAN YHTÄAIKAISESTI VARAUSKOLOJA VASTEN  
SITEN, ETTÄ PAALUISSA TAPAHTUU ESIKUORMITUSTA VASTAAVA KOKOONPURISTUMA.  
VARAUSKOLOJEN JA TUNKKAURAKENTEIDEN TOTEUTUS ERILLISEN SUUNNITELMAN  
MUKAISESTI. PAALUT JUOTETAAN UMPEEN KUORMANSIIRTORAKENTEEN LAIPASSA  
OLEVAN d40 REIÄN KAUTTA.

KUORMANSIIRTORAKENTEEN PÄÄLLE VALETAAN RAUDOITETTU BETONIPALKKI  
BxL=600x2200. RAUDOITUS JA TAPITUS ANTURAAN ERILLISEN SUUNNITELMAN  
MUKAISESTI.

PAALUKUORMA  $N_{d,max}$  = 990 kN, KOKOONPURISTUMA ESIKUORMITUKSESSA 22 mm.

RAKENTEEN SUUNNITELTU KÄYTTÖIKÄ ON 100 VUOTTA.

BETONI PERUSTUKSET: XC2, C25/30-2  
PAALUT: XC2, C35/45-2

RAUDOITUS B500B  
RAKENNETERÄS S355  
BETONIPEITE  $C_{nim}=30$  mm  
MAATA VASTEN VALETTAESSA 75 mm  
BETONIPEITE KOSKEE MYÖS TYÖTERÄKSIÄ.

BETONI SUHTEUTETAAN MAHDOLLISIMMAN VÄHÄN KUTISTUVAKSI.

BETONIPINNAT NÄKYVIIN JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA A (by40)  
MUOTTIPINTANA KÄYTETÄÄN HIENOSAHATTUA SAHATAVARAA

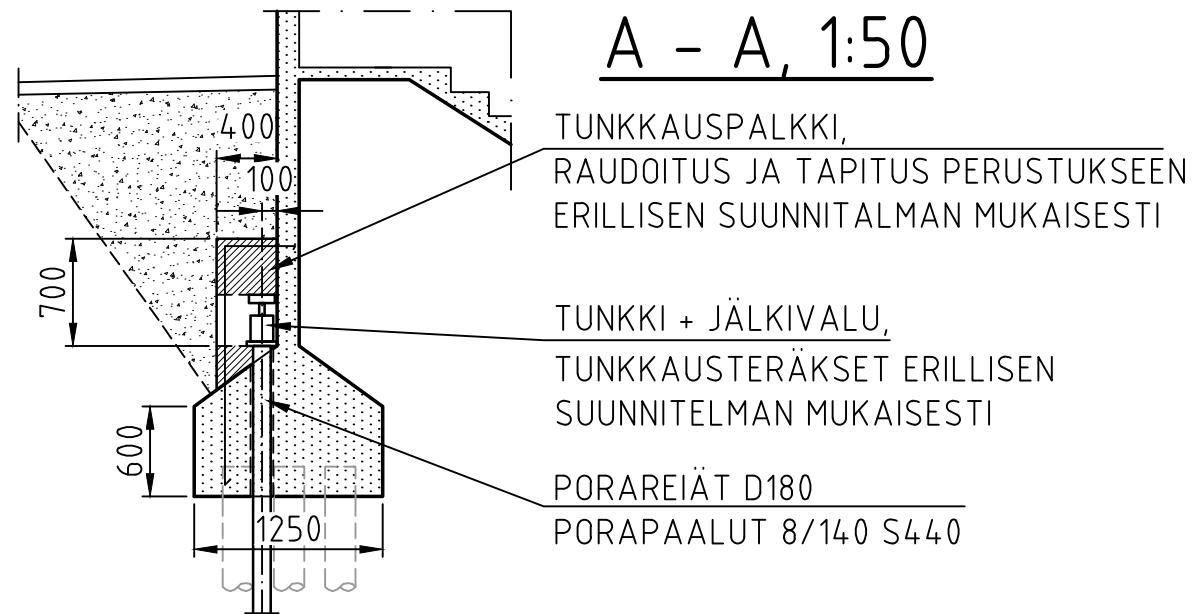
MAAN ALLE JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA C (by40)

TOLERANSSIT: RT 02-10102/LK2 PAIKALLAVALURAKENTEET

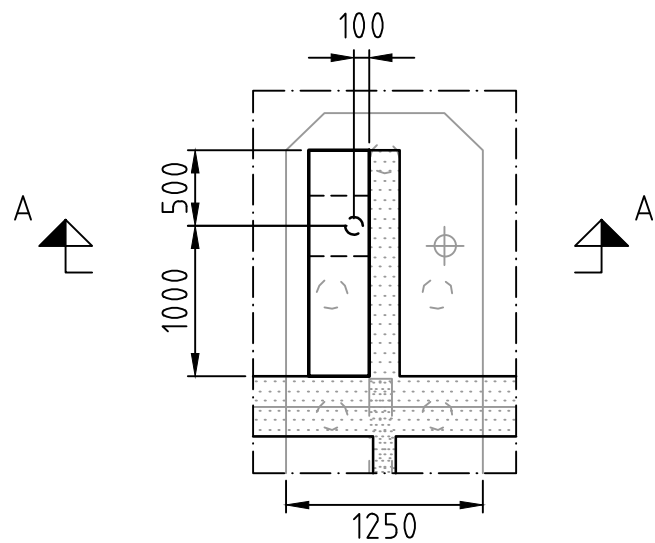
HITSAUSLUOKKA: C

PAALUT RD 8/140 S440  
PAALUTUSTYÖLUOKKA 2 PAALUTUSOHJE 2016 MUKAISESTI

Revisio	Päiväys	Muutos	Suunnittelija	
Kunnanosa/Kylä		Kaava-alue	Kortteli/Tila	Tontti/Rnro
Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		Mittakaava
AS OY BRAHENLINNA		HT, perustusten vahvistaminen Kohta 1. LIITE 7.		1:50
Suunnitteluala		Hanke nro	Piirustuksen nro	Revisio
RAK		xx	1	
Päiväys	Suunnittelija	Tiedostonimi		
		xx		
Konsultti	Päiväys	Suunnittelija	Tarkastaja	
TMI JANNE IHO	20.11.2018	Janne Iho	xx	



## PERUSTUKSEN TASOKUVA 1:50



LATTIA PURETAAN TARVITTAVALTA LEVEYDELTÄ. PURUSSA HUOMIOITAVA RIITTÄVÄ VEDENERISTEEN LIMITYS UUTTA LAATTA VALETTAESSA.

PORAPAALUT ASENNETAAN ANTURAAN TIMANTTIPORATTUJEN REIKIEN KAUTTA, PORAUUS KALLIOON  $4 \times D$ . PAALUT BETONOIDAAN UMPEEN KORKKON (KATKAISUTASO - 50 mm). PAALUJEN YLÄPÄÄHÄN HITSATAAN PAALUHATTU  $a=4$ .

PERUSTUKSEN PÄÄLLE RAKENNETAAN TUNKKAUSPALKKI. PAALUN KOHDALLE JÄTETÄÄN TUNKKAUSKOLO. PAALUA TUNKKATAAN YHTÄAIKAISESTI VARAUSKOLOJA VASTEN SITEN, ETTÄ PAALUISSA TAPAHTUU ESIKUORMITUSTA VASTAAVA KOKOONPURISTUMA. VARAUSKOLOJEN JA TUNKKAURAKENTEIDEN TOTEUTUS ERILLISEN SUUNNITELMAN MUKAISESTI. PAALUT JUOTETAAN UMPEEN PAALUHATUSSA OLEVAN  $d40$  REIÄN KAUTTA.

KUORMANSIIRTORAKENTEEN PÄÄLLE VALETAAN RAUDOITETTU BETONIPALKKI  $B \times L = 400 \times 2200$ . RAUDOITUS JA TAPITUS ANTURAAN ERILLISEN SUUNNITELMAN MUKAISESTI.

PAALUKUORMA  $N_{d,max} = 620$  kN, KOKOONPURISTUMA ESIKUORMITUKSESSA 20 mm.

RAKENTEEN SUUNNITELTU KÄYTTÖIKÄ ON 100 VUOTTA.

BETONI PERUSTUKSET: XC2, C25/30-2  
PAALUT: XC2, C35/45-2

RAUDOITUS B500B  
RAKENNETERÄS S355  
BETONYPEITE  $C_{nim}=30$  mm  
MAATA VASTEN VALETTAESSA 75 mm  
BETONYPEITE KOSKEE MYÖS TYÖTERÄKSIÄ.

BETONI SUHTEUTETAAN MAHDOLLISIMMAN VÄHÄN KUTISTUVAKSI.

BETONIPINNAT NÄKYVIIN JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA A (by40)  
MUOTTIPINTANA KÄYTETÄÄN HIENOSAHATTUA SAHATAVARAA

MAAN ALLE JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA C (by40)

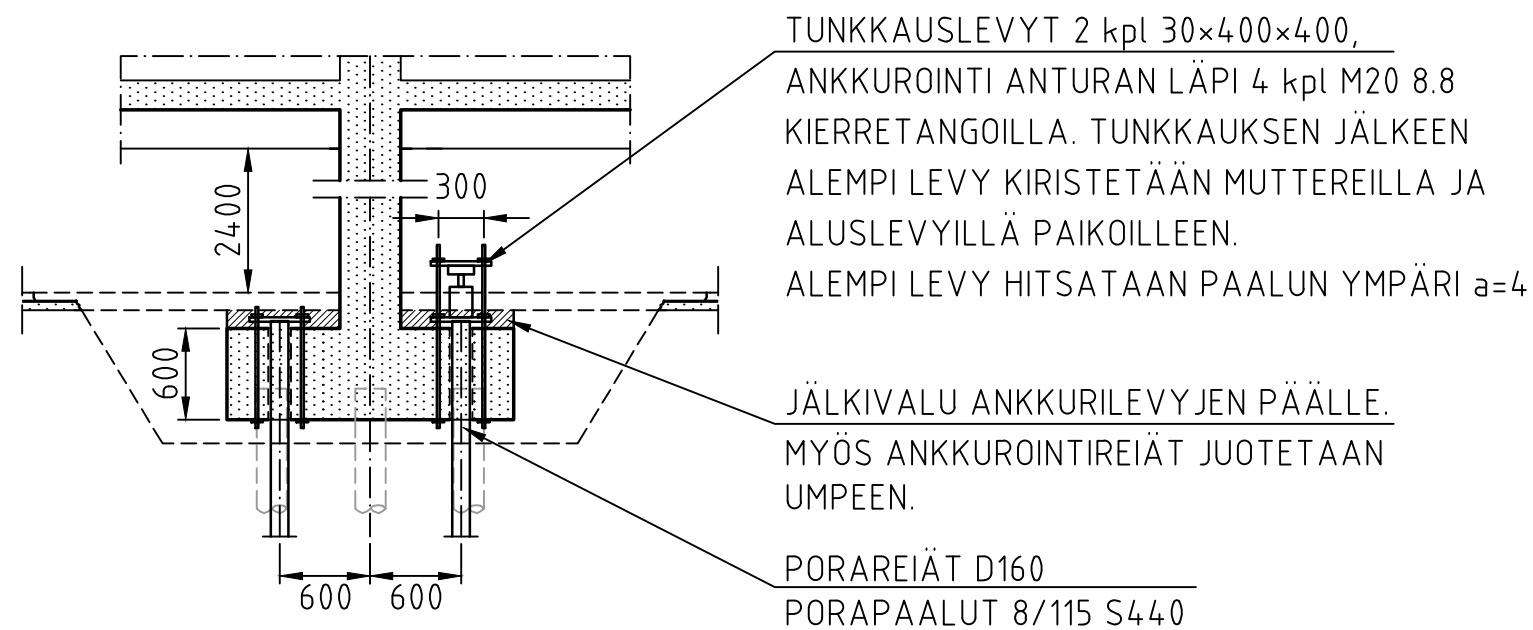
TOLERANSSIT: RT 02-10102/LK2 PAIKALLAVALURAKENTEET

HITSAUSLUOKKA: C

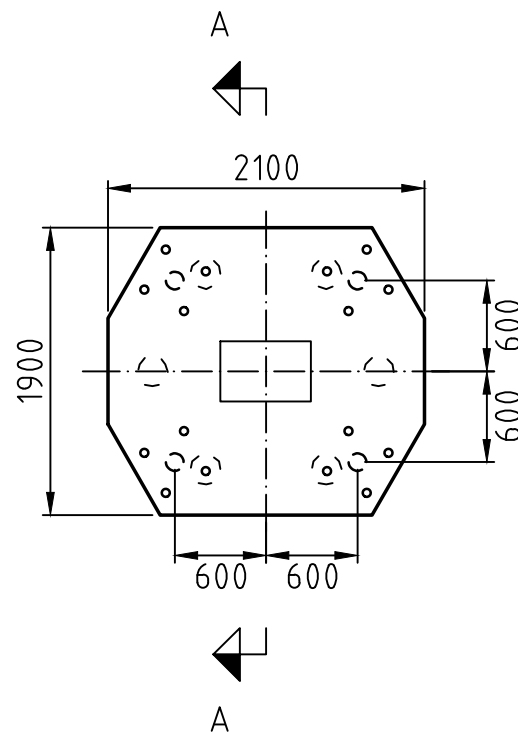
PAALUT RD 8/140 S440  
PAALUTUSTYÖLUOKKA 2 PAALUTUSOHJE 2016 MUKAISESTI

Revisio	Päiväys	Muutos	Suunnittelija	
Kunnanosa/Kylä		Kaava-alue	Kortteli/Tila	Tontti/Rnro
Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		Mittakaava
AS OY BRAHENLINNA		HT, perustusten vahvistaminen Kohta 2. LIITE 7.		1:50
Suunnitteluala		Hanke nro	Piirustuksen nro	Revisio
RAK		xx	1	
Päiväys	Suunnittelija	Tiedostonimi		
		xx		
Konsultti	Päiväys	Suunnittelija	Tarkastaja	
TMI JANNE IHO	20.11.2018	Janne Iho	xx	

## A - A, 1:50



## PERUSTUKSEN TASOKUVA 1:50



LATTIA PURETAAN TARVITTAVALTA LEVEYDELTÄ. PURUSSA HUOMIOITAVA RIITTÄVÄ  
VEDENERISTEEN LIMITYS UUTTA LAATTA VALETTAESSA.

PORAPAALUT ASENNETAAN ANTURAAN TIMANTTIPORATTUJEN REIKIEN KAUTTA, PORAUUS  
KALLIOON  $4 \times D$ . PAALUT BETONOIDAAN UMPEEN KORKKON (KATKAISUTASO - 50 mm).  
PAALUJEN YLÄPÄÄHÄN HITSATAAN PAALUHATTU  $a=4$ .

PERUSTUKSEN PÄÄLLE RAKENNETAAN TUNKKAUSPALKKI. PAALUN KOHDALLE JÄTETÄÄN  
TUNKKAUSKOLO. PAALUA TUNKKATAAN YHTÄAIKAISESTI VARAUSKOLOJA VASTEN SITEN,  
ETTÄ PAALUISSA TAPAHTUU ESIKUORMITUSTA VASTAAVA KOKOONPURISTUMA.  
VARAUSKOLOJEN JA TUNKKAURAKENTEIDEN TOTEUTUS ERILLISEN SUUNNITELMAN  
MUKAISESTI. PAALUT JUOTETAAN UMPEEN PAALUHATUSSA OLEVAN  $d40$  REIÄN KAUTTA.

KUORMANSIIRTORAKENTEEN PÄÄLLE VALETAAN RAUDOITETTU BETONIPALKKI  
 $B \times L = 400 \times 2200$ . RAUDOITUS JA TAPITUS ANTURAAN ERILLISEN SUUNNITELMAN  
MUKAISESTI.

PAALUKUORMA  $N_{d,max} = 620$  kN, KOKOONPURISTUMA ESIKUORMITUKSESSA 20 mm.

RAKENTEEN SUUNNITELTU KÄYTTÖIKÄ ON 100 VUOTTA.

BETONI PERUSTUKSET: XC2, C25/30-2  
PAALUT: XC2, C35/45-2

RAUDOITUS B500B  
RAKENNETERÄS S355  
BETONIPEITE  $C_{nim}=30$  mm  
MAATA VASTEN VALETTAESSA 75 mm  
BETONIPEITE KOSKEE MYÖS TYÖTERÄKSIÄ.

BETONI SUHTEUTETAAN MAHDOLLISIMMAN VÄHÄN KUTISTUVAKSI.

BETONIPINNAT NÄKYVIIN JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA A (by40)  
MUOTTIPINTANA KÄYTETÄÄN HIENOSAHATTUA SAHATAVARAA

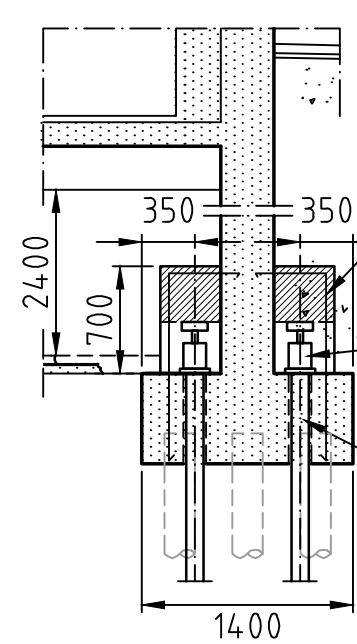
MAAN ALLE JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA C (by40)

TOLERANSSIT: RT 02-10102/LK2 PAIKALLAVALURAKENTEET

HITSAUSLUOKKA: C

PAALUT RD 8/140 S440  
PAALUTUSTYÖLUOKKA 2 PAALUTUSOHJE 2016 MUKAISESTI

Revisio	Päiväys	Muutos	Suunnittelija	
Kunnanosa/Kylä		Kaava-alue		Kortteli/Tila
Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		Mittakaava
AS OY BRAHENLINNA		HT, perustusten vahvistaminen Kohta 3. LIITE 7.		1:50
Suunnitteluala		Hanke nro	Piirustuksen nro	Revisio
RAK		xx	1	
Päiväys		Suunnittelija		Tiedostonimi
20.11.2018		Janne Iho		xx
Konsultti		Päiväys	Suunnittelija	Tarkastaja
TMI JANNE IHO		20.11.2018	Janne Iho	xx



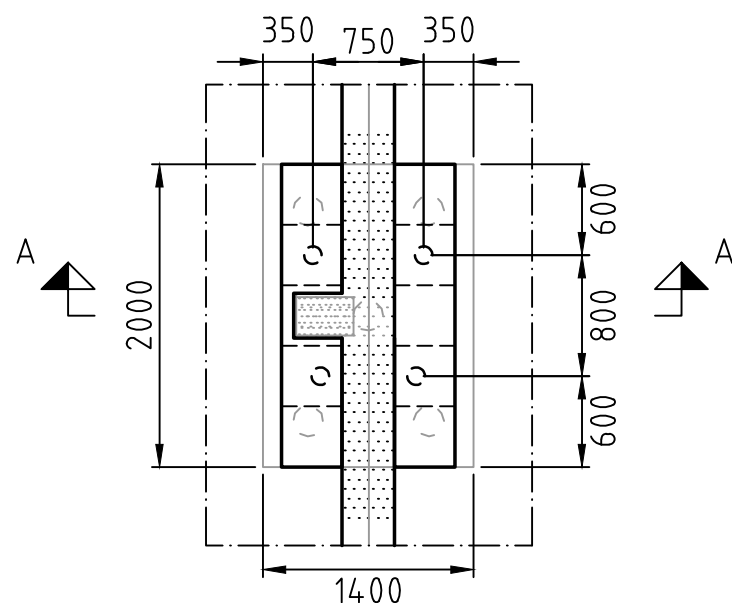
### A - A, 1:50

TUNKKAUSPALKKI,  
RAUDOITUS JA TAPITUS PERUSTUKSEEN  
ERILLISEN SUUNNITELMAN MUKAISESTI

TUNKKI + JÄLKIVALU,  
TUNKKAUSTERÄKSET ERILLISEN  
SUUNNITELMAN MUKAISESTI

PORAREIÄT D150  
PORAPAALUT 8/115 S440

### PERUSTUKSEN TASOKUVA 1:50



LATTIA PURETAAN TARVITTAVALTA LEVEYDELTÄ. PURUSSA HUOMIOITAVA RIITTÄVÄ VEDENERISTEEN LIMITYS UUTTA LAATTA VALETTAESSA.

PORAPAALUT ASENNETAAN ANTURAAN TIMANTTIPORATTUJEN REIKIEN KAUTTA, PORAUUS KALLIOON 4xD. PAALUT BETONOIDAAN UMPEEN KORKOON (KATKAISUTASO - 50 mm).

PERUSTUKSEN LÄPI ANKKUROIDAAN M20 ANKKURITANGOT, PORAREIÄT D50. ANKKURIT TUETAAN PERUSTUKSEN ALAPINTAAN POHJALEVYJEN JA MUTTEREIDEN AVULLA. PAALUN PÄÄLLE ANKKURILEVYIHIN ASENNETAAN TUNKKAUSLEVY 2 kpl 30x400x400 SEKÄ MOLEMMILLE LEVYLLE ALUSLEVY JA MUTTERIT. ALEMPI LEVY HITSATAAN PAALUUN YMPÄRI a=4. TUNKKI ASENNETAAN LEVYJEN VÄLIIN JA PAALUUN PURISTETAAN ESIKUORMITUSTA VASTAAVA KOKOONPURISTUMA. TUNKKAUKSEN JÄLKEEN ALEMPI LEVY KIRISTETÄÄN MUTTEREILLA PAIKOILLEEN.

PAALUT JUOTETAAN UMPEEN LEVYSSÄ OLEVAN d40 REIÄN KAUTTA.

KUORMANSIIRTORAKENTEEN PÄÄLLE VALETAAN SUOJABETONIKUORI, JOLLA TÄYTETÄÄN MYÖS ANKKUREIDEN REIÄT.

PAALUKUORMA  $N_{d,max} = 440$  kN, KOKOONPURISTUMA ESIKUORMITUKSESSA 19 mm.

RAKENTEEN SUUNNITELTU KÄYTTÖIKÄ ON 100 VUOTTA.

BETONI PERUSTUKSET: XC2, C25/30-2  
PAALUT: XC2, C35/45-2

RAUDOITUS B500B  
RAKENNETERÄS S355  
BETONYPEITE  $C_{nim}=30$  mm  
MAATA VASTEN VALETTAESSA 75 mm  
BETONYPEITE KOSKEE MYÖS TYÖTERÄKSIÄ.

BETONI SUHTEUTETAAN MAHDOLLISIMMAN VÄHÄN KUTISTUVAKSI.

BETONIPINNAT NÄKYVIIN JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA A (by40)  
MUOTTIPINTANA KÄYTETÄÄN HIENOSAHATTUA SAHATAVARAA

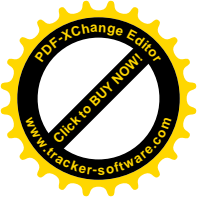
MAAN ALLE JÄÄVÄ MUOTTIPINTA: LUOKKA C (by40)

TOLERANSSIT: RT 02-10102/LK2 PAIKALLAVALURAKENTEET

HITSAUSLUOKKA: C

PAALUT RD 8/115 S440  
PAALUTUSTYÖLUOKKA 2 PAALUTUSOHJE 2016 MUKAISESTI

Revisio	Päiväys	Muutos	Suunnittelija	
Kunnanosa/Kylä		Kaava-alue	Kortteli/Tila	Tontti/Rnro
Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		Mittakaava
AS OY BRAHENLINNA		HT, perustusten vahvistaminen Kohta 4. LIITE 7.		1:50
Suunnittelu		Hanke nro	Piirustuksen nro	Revisio
RAK		xx	1	
Päiväys	Suunnittelija	Tiedostonimi		
		xx		
Konsultti	Päiväys	Suunnittelija	Tarkastaja	
TMI JANNE IHO	20.11.2018	Janne Iho	xx	



Janne Iho

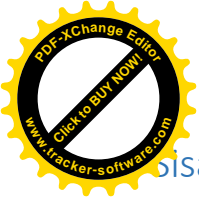
janne.iho@student.tut.fi

Op.nro 263061

LIITE 8:  
AS OY BRAHENLINNA  
PERUSTUSTEN VAHVISTAMINEN  
TYÖSELOSTUS

24.11.2018





## Sisällysluettelo

### YLEISTÄ

*Hankkeen kuvaus*

*Työssä noudatettavat ohjeet ja vaatimukset*

*Maaperä ja pohjatutkimukset*

*Rakennusalueen ja naapurirakennusten tarkastus*

*Olemassa olevien rakenteiden suojaus*

*Työnaikaiset mittaukset*

*Liikennejärjestelyt*

*Työmaan viimeistely ja rakennuskohteen luovutus tilaajalle*

### **221 Raivaustyöt**

*2211 Poistettava kasvillisuus*

*2214 Rakenteiden suojaaminen*

### **222 Maankaivutyöt**

*2221 Pintamaan poistaminen*

*2222 Maankaivu*

### **251 Työnaikainen kaivannon kuivatus**

### **242 Kaivantojen tukeminen**

### **224 Salaojatyö**

### **Putki ja johtoasennus**

### **241 Paalutustyö**

*2413 Teräksiset porapaalut*

*2413.1 Teräksisten porapaalujen materiaalit*

*Paalujen asennus*

*Paalun jälkibetonointi*

*Paalujen jälkitoimenpiteet*

*Paalupöytäkirja ja mittaukset*

### **223 Täyttötyö**

*2232 Rakennuksen täyttöjen tekeminen*

*Rakennuksen sisäpuoliset ja perustusten alapuoliset täytöt*

*Perustusten ympärystäytöt*

*2233 Putkikaivannon täytön tekeminen*

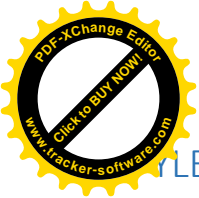
*2234 Päällysrakenteen tekeminen*

### **311 Kantavan kerroksen tekeminen**

*3111 Sitomattoman kantavan kerroksen tekeminen*

### **331 Asfalttipäällysteet**

*3311 Asfalttipäällysteen tekeminen*



## Hankkeen kuvaus

### Rakennushanke As Oy Brahenlinna, Brahenkatu 15, 08150 Turku

Turun keskustassa Linnankadun ja Brahenkadun risteyksessä sijaitsevan puupaaluille perustetun rakennuksen on todettu painuvan epätasaisesti. Tämä on aiheuttanut rakennuksessa kallistumia ja tulevaisuudessa voidaan olettaa myös rakenteellisten vaurioiden mm. halkeilun lisääntyvän. Rakennus on valmistunut vuonna 1956 ja sen kantavat rakenteet ovat betonia. Rakennus muodostuu 8-kerroksisesta pitkästä asuinkerrostalosta sekä 1- ja 2-kerroksisista liiketiloista. Rakennuksessa on lisäksi kellarikerros. Asuinkerrostalo on perustettu rakennuksen läpi ulottuville paalutetuille seinäanturoille ja liikerakennus yksittäisille pilarianturoille.

Ellei tässä työselostuksessa ole muuta mainittu, noudatetaan rakennustöissä MaaRYL 2010 -laatuvaatimuksia. Työselostus noudattaa MaaRYL 2010 -litterointia.

Rakennuksen perustusten vahvistaminen toteutetaan asentamalla uudet teräksiset porapaalut vanhojen anturoiden lävitse. Porapaalut valetaan täyteen betonia ja esijännitetään tunkkaamalla rakennuksen kantaviin rakenteisiin. Rakennuksen ympärille ja sisäpuolelle tehdään riittävän laaja ja tuettu kaivanto porapaalutuskaivantoa varten.

Rakennuksen paaluanturoiden alapinta on tasossa +3,0...+3,1. Paalujen yläpinnan taso on noin +3,3. Alimman kerroksen lattia on noin tasossa +4,70. Rakennuskaivannot tulevat olemaan orsiveden pinnan alapuolella ja kaivantojen kuivatus tulee huomioida työnsuunnittelussa.

## Työssä noudatettavat ohjeet ja vaatimukset

- Suunnitelmapiiirustukset ja työselitys
- MaaRYL 2010, Talonrakennuksen maatoiden yleiset laatuvaatimukset
- Voimassa olevat Suomen lait ja asetukset ja viranomaisten määräykset
- Eurokoodit (erityisesti 1, 2, 3, 4 ja 7)
- Eurokoodin soveltamisohje, Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 LO25/2014
- Eurokoodin soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 LO35/2013
- Viheralueiden hoidon työselitys VHT 05, VYL

Materiaalien, työsuoritusten ja -menetelmien tulee vastata yleisesti käytettyjä ja hyväksytyjä vaatimuksia. Suunnitelmassa mainitut tarvikkeet voidaan korvata käyttökohteen kannalta ominaisuuksiltaan ja laadultaan vastaavilla tarvikkeilla, mikäli rakennuttaja hyväksyy vaihdon. Vastaavuuden todistamisvelvollisuus samoin kuin vastuu vaihdosta jää kuitenkin sen esittäjälle.

Työmaan ja työturvallisuuden osalta työssä on noudatettava lakien, asetusten ja viran-omaisten määräyksiä ja ohjeita.

Tässä selostuksessa ja suunnitelmapiiirustuksissa esitetyt vaatimukset tulevat pätemisjärjestyksessä edellä mainittujen ohjeiden edelle. Rakentaja on velvollinen hankkimaan edellä mainitut julkaisut työmaakäyttöön. Yksityiskohtainen asiakirjojen pätemisjärjestys esitetään urakkasopimuksessa.



## Maaperä ja pohjatutkimukset

Rakennuksen pituus suunnassa on tehty kolmella eri linjalla porakonekairauksia. Kallionpinta sijaitsee rakennuksen alla melko tasaisena korossa -25...-20. Kallion päällä on arvioitu olevan 1-3 metrin paksuinen pohjamaareeni. Savikon paksuus on 25 metriä tasoilla -20...+5. Aivan pinnassa on noin 2...4 metriä paksu täytemaakerros.

Orsivedenpinnan tasoa on mitattu vuosina 2010...2017 useista mittausputkista rakennuksen alta. Orsiveden pinnan taso vaihtelee välillä +3,3...+4,3.

## Rakennusalueen ja naapurirakennusten tarkastus

Rakennuksen perustukset ja seinät katselmoidaan näkyviltä osin ulko- ja sisäpuolelta ennen kaivantotöiden aloittamista sekä paalutus ja esijännitystöiden aikana. Havaitut vauriot kirjataan katselmuspöytäkirjaan. Lisäksi kaikki tarkastetut rakenteet valokuvataan.

Lisäksi maanpinta kartoitetaan rakennuksen ympäriltä 30 metrin etäisyydeltä perustuskaivannosta, jotta ympäristössä tapahtuvia painumia voidaan seurata töiden aikana.

Lähin naapurirakennus on asuinkerrostalo, joka sijaitsee Brahenkadun varrella noin 10 metrin etäisyydellä. Työmaata ympäröivät rakennukset katselmoidaan taloyhtiöiden edustajien kanssa ennen kaivantotöiden aloittamista ulko- ja sisäpuolelta, ja katselmoinnista ja havainnoista laaditaan pöytäkirja. Kaikki tarkastetut rakenteet valokuvataan.

Lähimpään rakennukseen Brahenlinnan pohjoispuolella asennetaan värinämittarit, joilla seurataan kaivantojen pontinlyönnin sekä perustusten paaluttamisen aiheuttamaa värinää. Rakennukseen asennetaan mittapisteet ja rakennuksen korot mitataan.

## Olemassa olevien rakenteiden suojaus

Työmaa-alueella ja katujen alla sijaitsee johtoja, putkia ja laitteita. Maanalaiset rakenteet tulee selvittää niiden omistajilta ennen töiden aloittamista. Kaivantotöissä noudatetaan erityistä varovaisuutta. Kaivettaessa kaivantoa kaapelilinjaston alle on "ilmaan" jäävien kaapelien ja putkien tuenta huomioitava työtä suunniteltaessa siten, että ne eivät vaurioidu työmaan aikana. Tarvittaessa kaapelit siirretään työmaan ajaksi.

## Työnaikaiset mittaukset

Kaikki raportissa ja suunnitelmissa ilmoitetut korot ovat korkeusjärjestelmässä N2000. Brahenlinnan, lähimmän rakennuksen ja maanpinnan korkoja mitataan samoista mittapisteistä koko työmaan ajan. Korot mitataan kaivantotöiden aikana kerran viikossa ja tämän jälkeen kahden viikon välein. Kaivannon reunojen sivusiirtymät mitataan samassa yhteydessä.

Orsivedenpinnan tasoa mitataan kahden viikon välein koko työmaan ajan Brahenlinnan alta, lähimmän rakennuksen päästä sekä Linnankadun ja Brahenkadun alta. Lisäksi vedenpinta kaivannossa kirjataan ylös.

Paalujen tunkkaamisesta tehdään erillinen mittaussuunnitelma.



## Liikennejärjestelyt

Työt rakennuskohteen nykyisillä kaduilla tulee toteuttaa siten, ettei liikenteelle ja asutukselle aiheudu kohtuutonta haittaa rakennustöiden johdosta. Urakoitsija laatii liikennejärjestelyistä suunnitelman.

Kaivannot tulee suojata asianmukaisesti. Erityisesti on huolehdittava, että suojaukset ovat kunnossa myös työvuorojen välisinä aikoina.

## Työmaan viimeistely ja rakennuskohteen luovutus tilaajalle

Ennen vastaanottamista on koko työmaa-alue ja sen johdosta likaantunut ympäristö on siistittävä. Kaikki rakennusjätteet, muotit, tukirakenteet ja tilapäisiksi tarkoitettut rakenteet on poistettava.

Uudet katurakenteet liitetään nykyisiin kadun ja kiinteistöjen rakenteisiin ja ympäröivään maastoon.

## 221 Raivaustyöt

### 2211 Poistettava kasvillisuus

Puustoa ja kasvillisuutta poistetaan vain rakentamisen kannalta välttämätön määrä. Säästettävä puusto suojataan esimerkiksi rungon laudoituksella ja juurien tarpeetonta vaurioitumista kaivantotöiden aikana vältetään.

### 2214 Rakenteiden suojaaminen

Olemassa olevat säästettävät rakenteet suojataan työmaan perustamisen yhteydessä. Työmaa ympäröidään korkealla suoja-aidalla. Kadut ja päällystetyt pintarakenteet puretaan vain tarvittavilta osin.

#### *Vanhojen rakennusten ja rakenteiden purku*

Perustusten vahvistaminen sisältää läpivientien tekemistä kantaviin rakenteisiin. Purkutyöt toteutetaan vain suunnitelmassa osoitetussa laajuudessa joko timanttisahaamalla tai -poraamalla. Rammerointia tai pulverointia ei saa käyttää kantavien rakenteiden purkumenetelmänä. Urakoitsijan on varauduttava vanhoja vedeneristeitä ja seinärakenteista purettaessa mahdolliseen asbestia ja muita haitallisia aineita sisältävään purkutyöhön. Koneita varten rakenteisiin purettuja kulkuaukkoja ei saa puhkaista kantaviin rakenteisiin. Urakoitsija laatii purkutöistä purkusuunnitelman huomioiden työmenetelmien vaatima tilantarve ja kulkureitit.

#### *Purku ja raivausjätteiden poiskuljetus*

Urakoitsija vastaa rakennusjätteiden lajittelusta ja käsittelystä.

## 222 Maankaivutyöt

Maaleikkaukset toteutetaan suunnitelmapiirustusten osoittamassa laajuudessa. Ylikaivua tulee välttää. Olemassaolevia puupaaluja ei saa vaurioittaa anturoiden alle kaivettaessa.

### 2221 Pintamaan poistaminen

Pintamaata poistetaan vain rakentamisen kannalta välttämätön määrä.



## 2222 Maankaivu

Kaivannon pohjan minimileveys on 0,7 m. Liikakaivua sekä leveys- että syvyysuunnassa on vältettävä.

Kaivussyvyyden ollessa riittävän matala, voidaan kaivannot toteuttaa luiskattuina. Urakoitsija laatii kaivantosuunnitelmat esimerkiksi RIL 181-1989, Rakennuskaivanto-ohjeen mukaisesti. Suunnitelmassa huomioidaan kaivannon geotekninen mitoitus, kalusto, massojen työnaikainen läjitys sekä kaivannossa toteutettavat työt, huomioiden tärinä ja kaivannon kuivatus sekä kaivu ja massojen siirto rakennuksen sisäpuolella. Lisäksi huomioidaan kaluston ja koneiden kulkureitit kaivantoon.

## 251 Työnaikainen kaivannon kuivatus

Kaivanto voidaan kuivattaa pumpppaamalla vesi pois kaivannon pohjalta. Pohjavedenpinnan ylimääräistä madaltamista on vältettävä. Hule- ja rännivesien virtaaminen kaivantoon on pyrittävä estämään hallitusti.

## 242 Kaivantojen tukeminen

Rakennuksen ulkopuoliset kaivannot joudutaan pääsääntöisesti toteuttamaan tuettuna kaivantona. Urakoitsija laatii kaivannon tuentasuunnitelman huomioiden kohdassa 2222 esitetyt seikat. Urakoitsijan on hyväksyttävä rakennuttajalla kaivutapa, tuentamenetelmä ja tuentasuunnitelmat ennen kaivutöihin ryhtymistä.

### *Kaivumaiden kuljetus*

kaivumaiden kuljettamisesta itse hankkimalleen läjitysalueelle tai loppusijoitukseen.

## 224 Salaojatyö

Perustusten vahvistamisen yhteydessä uusitaan anturoiden salaojat ja tarkastuskaivot suunnitelma-asiakirjoissa esitetyllä laajuudella. Perustusten kuivatus ja materiaalit on esitetty erillisessä suunnitelmapiirustuksessa. **(EI TÄSSÄ HARKASSA)**

Salaojien materiaalit ja asennustoleranssit on esitetty MaaRYL:ssä. Salaojan minimikaltevuus on 0,5 % perusmuurin ulkopuolella ja sisäpuolella 1,0 %. Salaojaputkien on vastattava vähintään lujuusluokkaa SN8.

Salaojien kokoojakaivo liitetään suunnitelmissa esitettyyn kadun kokoojakaivoon.

## Putki ja johtoasennus

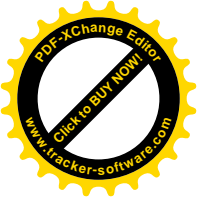
Putkityöt on esitetty putki- ja johtokartassa. Täytöt toteutetaan kohdan 2233 mukaisesti.

## 241 Paalutustyö

### 2413 Teräksiset porapaalut

#### 2413.1 Teräksisten porapaalujen materiaalit

Käytettävät paalukoot ovat 8/115 ja 8/140, joiden käyttöalueet on esitetty perustusten poikkileikkauksissa. Paalujen teräslujuus on S440.



Rakennuksen sisäpuolella tehtävä porapaalutus on suunniteltu tehtäväksi 2,0 metrin mittaisista paaluelementeistä. Paikoitellen kerralla porattava paalupituus voi olla suurempikin, kun huomioidaan kellarin huonekorkeuden lisäksi rakennuskaivannon syvyys.

Paalujen jatkokset suositellaan tehtäväksi rakennuksen sisällä kierrejatkoksina, koska paalutukselle on paikoitellen hyvin vähän tilaa. Hitsausjatkosta suositellaan käytettäväksi rakennuksen ulkopuolella.

### Paalujen asennus

Paalutustyö suoritetaan RIL 254-Paalutusohje 2016 mukaisesti paalutustyöluokassa PTL 2.

Paalut asennetaan perustuksiin timanttikorattujen läpivientien läpi. Paalu porataan kallioon vähintään 4 kertaa halkaisijansa verran (500mm / 600 mm). Urakoitsija laatii paalutuksesta ja jatkoksista työsuunnitelman.

### Paalun jälkibetonointi

Paalut betonoidaan umpeen. Betonin lujuusluokka on C35/45. Betonointi lopetetaan noin 50 mm etäisyydelle paalun katkaisutasosta. Paalujen yläpäät juotetaan sisäpuolelta umpeen paaluhattujen hitsauksen jälkeen, minkä takia paaluhattut varustetaan jälkivalurei'illä.

### Paalujen jälkitoimenpiteet

Paalujen kohdalle rakennetaan suunnitelmapoikkileikkauksissa esitetty kuormansiirtorakenne, joka ankkuroidaan rakennuksen kantaviin rakenteisiin. Kaikki paalut tunkataan kuormansiirtoraketeita vasten. Paaluissa tavoiteltava esijännitysvoima on saavutettu, kun paalussa on tapahtunut rakennepoikkileikkauksissa esitetty kokoonpuristuma. Paalujen tunkkaus suoritetaan yhtä aikaa koko rakennuksen alueella tasaisesti yhtä aikaa, jotta rakennuksen kuorma siirtyy tasaisesti paalujen kannettavaksi. Tunkkauksen jälkeen paaluhattujen ja kuormansiirtorakenteiden väliin hitsataan teräksiset tuet rakennussuunnitelmien mukaisesti.

Tukien hitsauksen jälkeen tunkit voidaan poistaa ja kuormansiirtorakenteen päälle valetaan suojabetonirakenne. Betonin lujuus on C25/30. Lisäksi paalujen ympärystät perustuksissa juotetaan umpeen juotosbetonilla. Juotosbetonin lujuus on vähintään C35/45.

### Paalupöytäkirja ja mittaukset

Paalutustyön kelpoisuus todetaan paalutustyön aikana tehtyjen tarkemittausten ja paalutuspöytäkirjojen avulla. Urakoitsija laatii paalutuspöytäkirjat samanaikaisesti paalutustyön edetessä. Pöytäkirjaan merkitään myös työn aikana havaitut poikkamat ja rikkoutuneet paalut.

Paalujen sijainti, porausvyvyys, katkaisutaso, suoruus ja kaltevuus tarkemmitataan ja merkitään mittausraporttiin.

Asennetun paalun mittatoleranssit:

Katkaisutaso	-0 mm / +20 mm
Porareiän sijainti anturassa	+/- 20 mm
Kaltevuus	yksittäinen paalu <40 mm/m, keskimäärin <20 mm/m
Kaarevuussäde	230 m



Paalun suoruus voidaan tarkastaa ns. ”taskulamppumenetelmällä”.

## 223 Täyttötyö

### 2232 Rakennuksen täyttöjen tekeminen

Rakennuksen sisäpuoliset ja perustusten alapuoliset täytöt

Rakennuksen alapuoliset täytöt rakennetaan kerroksittain tiivistäen täyttöihin soveltuvasta kitkamaasta. Rakennuksen alle tehdään vähintään 500 mm paksuinen salaojituskerros. Salaojituskerroksen paksuus mitataan betonilaatan alapinnan korosta. Salaojituskerros ulotetaan lisäksi 0,5 m etäisyydelle perustusrakenteista. Materiaalina käytetään MaaRYL:n vaatimukset täyttävää kiviainesta. Tiiveys varmistetaan ohjeen Taulukon 2232:T4 mukaisesti.

Perustusten ympärystäytöt

MaaRYL:n vaatimusten mukaisesti kerroksittain tiivistäen.

### 2233 Putkikaivannon täytön tekeminen

Putkien ja kaapeleiden kiviainesarinat tehdään sorasta tai murskeesta, jonka rakeisuus on 0/32 tai jonka suurin raekoko on enintään 2/3 kerroksen paksuudesta, kuitenkin enintään 150 mm. Suodatinkankaalla ympäröidyn arinan suodatinkangas täyttää vähintään käyttöluokan N3 vaatimukset.

Asennusalusta, alku- ja lopputäytöt rakennetaan MaaRYL:n vaatimusten ja toleranssien mukaisesti.

### 2234 Päällysrakenteen tekeminen

Katujen ja pihojen suodatin- ja jakavakerros rakennetaan rakennepoikkileikkausten mukaisesti. Tiiveys- ja mittatoleransseina käytetään MaaRYL:n mukaisen laatuluokan 1 vaatimuksia. Rakennekerrosten kiviaineen rakeisuuden on täytettävä ohjeessa esitetyt vaatimukset.

## 311 Kantavan kerroksen tekeminen

### 3111 Sitomattoman kantavan kerroksen tekeminen

Katujen ja pihojen kantavat kerrokset rakennetaan rakennepoikkileikkausten mukaisesti. Tiiveys- ja mittatoleransseina käytetään MaaRYL:n mukaisen laatuluokan 1 vaatimuksia. Rakennekerrosten kiviaineen rakeisuuden on täytettävä ohjeessa esitetyt vaatimukset. Pinta muotoillaan katusuunnitelman mukaan. Katusuunnitelman puuttuessa pinta muotoillaan murskeella #0...32 3 % kaltevuuteen seinälinjasta poispäin johtavaksi 0,5 m etäisyydelle sokkelin juuresta.

## 331 Asfalttipäällysteet

### 3311 Asfalttipäällysteen tekeminen

Asemapiirustuksessa on esitetty asfalttipäällystettävät pinnat ja asfalttikerrokset.