

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikan yksikkö/Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Barakshin Ignat

**Maanalaisen pysäköintilaitoksen ulkoseinien
kustannus- ja rakennettavuusvertailu:
kaivantoseinä ja teräsponttiseinä**

Tiivistelmä

Barakshin Ignat

Maanalaisen pysäköintilaitoksen ulkoseinien kustannus- ja rakennettavuusvertailu: kaivantoseinä ja teräsponttiseinä, 45 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikan yksikkö/Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2014

Ohjaajat: lehtori Martti Muinonen, Saimaan ammattikorkeakoulu ja projektipäällikkö Jouni Keisala, NCC Oy

Viime vuosina maanalaisesta rakentamisesta on tullut yhä ajankohtaisempaa. Nykyisin voidaan yhä useammin törmätä rakennusyhtiöiden toteuttamiin projekteihin, joissa pysäköintitila rakennetaan joko kokonaan tai osittain maanalaisena. Maan alle rakentaminen nostaa tontin käytön tehokkuutta ja tätä kautta tontin hankintakustannus on jätettävissä suuremmalle määrälle rakennusneliöitä.

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin kahta maanalaista rakentamismenetelmää: kaivantoseinää ja teräsponttiseinää. Vertailu tehtiin sekä teknisenä että taloudellisena vertailuna. Työn tavoitteena oli määritellä myös menetelmien vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

Rakennusmenetelmien kustannuksien vertailussa käytettiin kahta Pietarissa toteutettua projektia, joissa molemmissa kyse on maanalaisesta pysäköintitilasta. Ensimmäinen projekti on noin 100.000 neliömetrin kokoinen kauppakeskusprojekti, joka sijaitsee Pietarin keskustassa. Toinen projekti on noin 30.000 neliömetrin kokoinen asuintaloprojekti kaupungin keskustassa.

Tämän työn alussa tutustuttiin molempiin ulkoseinätyyppeihin yksityiskohtaisesti. Tämän jälkeen verrattiin Venäjällä sijaitsevien rakennusprojektien avulla molempien rakennusmenetelmien kustannuksia tarkemmin.

Lopuksi tarkasteltiin tutkimuksen lopputuloksia ja tehtiin johtopäätöksiä.

Asiasanat: kaivantoseinä, teräsponttiseinä, maanalainen pysäköintilaitos, rakennusprojekti, kaivutyö, betonointi, raudoitus, kustannus, teräspontti.

Abstract

Barakshin Ignat

The outer wall cost and constructability comparison of underground parking facility: barette wall and sheet pile wall, 45 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology/Lappeenranta

Construction engineering

Construction management

Bachelor's Thesis 2014

Instructors: lecturer Martti Muinonen, Saimaa University of Applied Sciences and project manager Jouni Keisala, NCC LTD

In recent years, the underground construction has become more and more topical. Today more often you come across projects carried out by construction companies, in which the parking space has been constructed either completely or partly underground. Underground construction may well replace the high cost of land to a larger number of squares in the building.

In this thesis, two underground construction methods are being compared: barette wall and sheet pile wall. The comparison has been executed from both technical and economical points of view. The goal was to define the strengths, weaknesses, opportunities and threats of these methods.

In the comparison of construction method costs two projects carried out in St. Petersburg were used, both of which have an underground parking space. The first project is approximately a 100,000 square-foot shopping center, located in the center of St. Petersburg. The second project is an approximately 30,000 square-foot apartment building in the center.

In the beginning of this thesis two outer wall types were examined in detail. After that both construction methods' costs were compared using construction projects located in Russia.

In the end, the results of the study have been examined and conclusions have been made.

Keywords: barette wall, sheet pile wall, underground parking facility, construction project, digging, swinging, mixing concrete, reinforcement, cost, sheet pile.

Резюме

Баракшин Игнат

Сравнение затрат и конструктивности наружных стен подземной парковки: стена в грунте и шпунтовая стена, 45 страниц

Сайменский Университет Прикладных Наук

Техника/Лаппеэнранта

Строительный факультет

Управление строительством

Дипломная работа 2014

Кураторы: лектор Мартти Муйнонен, Сайменский Университет Прикладных Наук и менеджер проекта Йоуни Кейсала, НСС

В последние годы подземное строительство становится все более и более актуальным. Сегодня все чаще можно встретить строительные компании, осуществляющие свои проекты с подземной автостоянкой, находящейся полностью или частично под землёй. Подземное строительство вполне может компенсировать высокую стоимость земли большей площадью здания.

В этой дипломной работе сравнивали два подземных метода строительства: стена в грунте и шпунтовая стена. Целью было выяснить плюсы и минусы каждого метода, какой из методов будет лучше подходить в тех или иных условиях и посчитать, какой был бы экономически выгоднее.

Для подсчета расходов строительства каждого метода использовали для сравнения два проекта, реализуемых в Санкт-Петербурге и имеющих подземную парковку. Первым проектом является торговый центр, имеющий площадь около 100 000 квадратных метров, расположенный в центре Санкт-Петербурга, а второй проект представляет собой жилой дом, приблизительно 30 000 квадратных метров, расположенный в центре города.

В начале этой дипломной работы ознакомились с обоими видами внешних стен подземных автопарковок. Затем детально сравнили затраты обоих методов строительства на примере двух проектов в России.

В конце работы подвели итоги данного исследования и сделали выводы.

Ключевые слова: стена в грунте, шпунтовая стена, подземная парковка, строительный проект, выработка грунта, бетонирование, армирование, затраты, шпунт.

Sisältö

1 Johdanto	6
1.1 Työn tausta.....	6
1.2 Työn tavoite ja rajausta.....	8
1.3 Työn suoritus.....	8
1.4 Yleisemmin maanalaisista seinistä: jäykkyyden vaikutus.....	9
2 Kaivantoseinä	11
2.1 Käyttö.....	11
2.2 Työjärjestys.....	12
2.3 Hyödyt.....	15
2.4 Haitat.....	15
2.5 Kustannusten muodostuminen.....	15
3 Teräsponttiseinä	16
3.1 Käyttö.....	16
3.2 Työjärjestys.....	17
3.2.1 Teräsponttiprofiilit.....	19
3.2.2 Pontin upotustavat.....	22
3.3 Hyödyt.....	23
3.4 Haitat.....	23
3.5 Kustannusten muodostuminen.....	24
4 Kaivantoseinän ja teräsponttiseinän kustannusvertailu	25
4.1 Projekti A.....	25
4.1.1 Teräsponttiseinämenetelmän kustannuksia.....	26
4.1.2 Kaivantoseinämenetelmän kustannuksia.....	32
4.2 Projekti B.....	33
4.2.1 Kaivantoseinämenetelmän kustannuksia.....	34
4.2.2 Teräsponttiseinämenetelmän kustannuksia.....	36
4.3 Kustannusvertailun saadut tulokset.....	38
5 Maanalaisen pysäköintilaitoksen ulkoseinätyypin valinta	40
5.1 Kaivantoseinä vai teräsponttiseinä: yleistä.....	40
5.2 Kaivantoseinä vai teräsponttiseinä: turvallisuus.....	40
5.3 Kaivantoseinä vai teräsponttiseinä: kustannukset.....	41
5.4 Kaivantoseinä vai teräsponttiseinä: työaika.....	41
5.5 Kaivantoseinä vai teräsponttiseinä: vaikeusaste.....	41
Lähteet	43

1 Johdanto

Viime vuosina maanalaisesta rakentamisesta on tullut yhä ajankohtaisempaa. Suuret rakennusyhtiöt harkitsevat yhä useammin maanalaista rakentamista. Useimmiten kyseistä vaihtoehtoa harkitaan, kun kyse on maanalaisista pysäköintitiloista asuintaloille, kauppakeskuksille tai toimistotaloille.

Seuraavana on tyypillisimpiä syitä, miksi maan alle rakennetaan:

- tonttimaan kalleus
- hyvillä sijainneilla olevien tonttien tehokkaampi maankäyttö
- minimaalinen vaikutus maisemaan ja ympäristöön
- säätilan vaihtelu aiheutumaa kerrostalo-vaikutuksen minimointi rakenteelle
- energian säästö käytön aikana
- kaupungin rajoissa rakentaminen lähes kaikkialla
- hyvä suojaus seismisten aaltojen ja ionisoivan säteilyn vaikutuksilta.

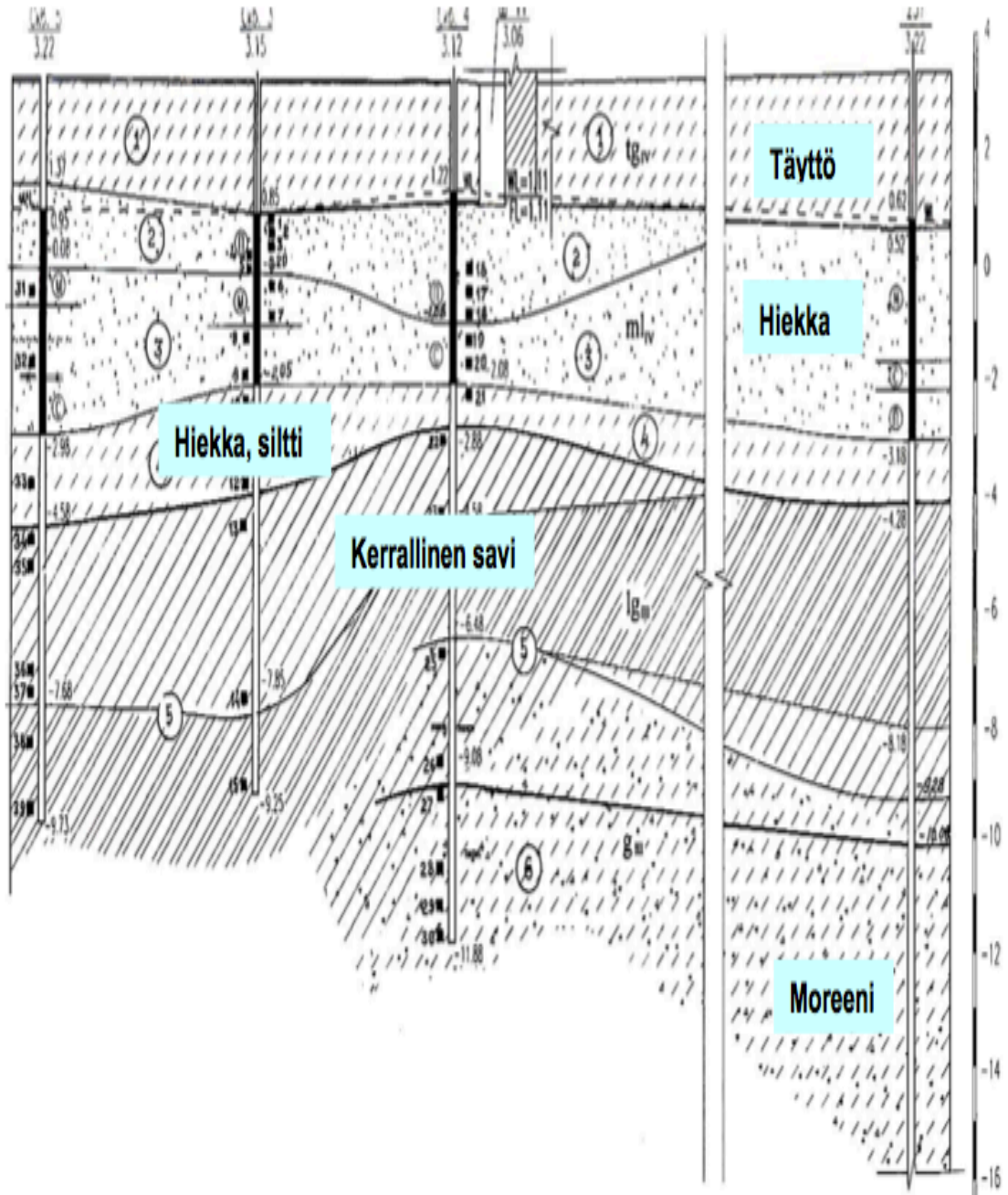
1.1 Työn tausta

Nykyisin voidaan yhä useammin törmätä rakennus- ja kiinteistökehitysyhtiöiden projekteihin, joissa toteutetaan maanalainen pysäköintitila joko kokonaan tai osittain maanalaisena.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään maanalaisen rakentamisen menetelmiä. Laskentaesimerkkeinä käytetään kahta Pietarissa toteutettua rakennusprojektia, joissa molemmissa on kyse maanalaisesta pysäköintitilan rakentamisesta. Ensimmäinen projekti on noin 100.000 neliömetrin kokoinen kauppakeskusprojekti, joka sijaitsee Pietarin keskustassa. Toinen rakennusprojekti on noin 30.000 neliömetrin kokoinen asuintaloprojekti kaupungin historiallisessa keskustassa. Projekteista puhutaan nimillä projekti A ja projekti B.

Pietarin kaupunki on perustettu vuonna 1703 Neva-joen suistoalueelle. Pietarin keskustan maanpinta on lähes tasainen, tästä huolimatta pohjasuhteet voivat vaihdella huomattavasti lyhyelläkin matkalla. Pohjavedenpinta on erityisesti keskustassa lähellä maanpintaa (Kuva 1) [1]. Tämän vuoksi rakennusten perus-

tuksille ja maanalaisille rakenteille, kuten esimerkiksi rakennuskaivannoille, paa-
lutustavoille, maanalaisille ulkoseinille ja rakennusten vedenpoistolle on asetet-
tu tiettyjä erityisvaatimuksia.



Kuva 1. Tyypillinen venäläinen pohjatutkimusleikkaus Pietarin keskusta-alueelta [1].

Pietarin tiheän rakennuskannan takia rakennuskaivantojen tekeminen voi johtaa väistämättömiin muodonmuutoksiin viereisissä rakennuksissa. Yksi kaupungin

jälleenrakentamisen tärkeimpiä tavoitteita on kuitenkin historiallisien rakennuksien säilyttäminen.

Maanalaisen pysäköintitilan toteuttamiseksi on kehiteltävä ensin ratkaisu pääongelmaan eli rakenteellinen ratkaisu rakennuskaivannon tukemiseksi. Tässä opinnäytetyössä vertaillaan rakennuskaivannon tukemisratkaisuja kahden eri perusmenetelmän kautta.

Nämä menetelmät ovat:

1. Teräsponttiseinä
2. Kaivantoseinä

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla rakennuskaivannon tukemisratkaisuja kahden eri perusmenetelmän kautta: teräsponttiseinä ja kaivantoseinä. Käydään läpi niiden hyviä ja huonoja puolia sekä verrataan ominaisuuksia ja kustannusarvioita.

Vertailu tullaan tekemään sekä teknisenä että taloudellisena vertailuna. Työn tavoitteena on määritellä myös menetelmien vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

Tutkimus on rajoitettu kahteen tehokkaaseen ja suosittuun maanalaisten pysäköintitilojen rakentamismenetelmään. Opinnäytetyössä ei käsitellä muita menetelmiä rakennuskaivantojen tukemiseksi.

Työssä käsitellään yhden luvun verran maanalaisen seinärakenteen jäykkyyttä, siihen liittyviä parametreja sekä seinän jäykkyyden vaikutuksia kustannuksiin. Pääpaino työssä on kuitenkin rakenteiden kustannuslaskennassa. Kustannuslaskelmissa käytettävät rahamäärät ovat merkitetyt euroissa ja yhdenmukaistettu $1 \text{ €} = 49,4120 \text{ ruplaa}$ [2].

1.3 Työn suoritus

Työn alussa tutustutaan kumpaankin rakennuskaivannon tukemisratkaisuun.

Opinnäytetyössä käydään siis molemmat rakennusmenetelmät yksityiskohtaisesti läpi. Tämän jälkeen verrataan esimerkkiprojektien avulla molempia perusmenetelmiä, niiden taloudellisia etuja ja hyötyjä sekä tehokkuutta.

Työ on jaettu viiteen eri päälukuun. Ensimmäinen luku on johdanto. Toinen luku esittelee kaivantoseinämenetelmän hyödyistä ja haitoista. Osan lopussa käydään lävitse menetelmän kustannukset ja niiden muodostuminen. Kolmas luku esittelee teräsponttiseinämenetelmän. Tämä luku kuvailee nimikään menetelmän käytöstä, työjärjestyksestä sekä hyödyistä että haitoista. Lisäksi luvussa käydään lävitse tyypillisimmät teräsponttiprofiilit ja ponttien upotustavat. Osan lopussa käydään lävitse menetelmän kustannukset ja niiden muodostaminen. Neljäs luku esittelee rakennusmenetelmien kustannusvertailu. Tässä luvussa vertaillaan menetelmien kustannukset kahden esimerkkiprojektien avulla ja lopussa tarkastellaan saadut tulokset. Viimeisessä viidessä luvussa tehdään johtopäätöksiä rakentamismenetelmien vertailusta.

1.4 Yleisemmin maanalaisista seinistä: jäykkyyden vaikutus

Kaivantoseinästä muodostuu erittäin jäykkä rakenne, joten niitä käytetään erittäin syvissä kaivannoissa. Jotta saavutettaisiin riittävä kantavuus, kaivantoseinät tulee ulottaa riittävän syvälle.

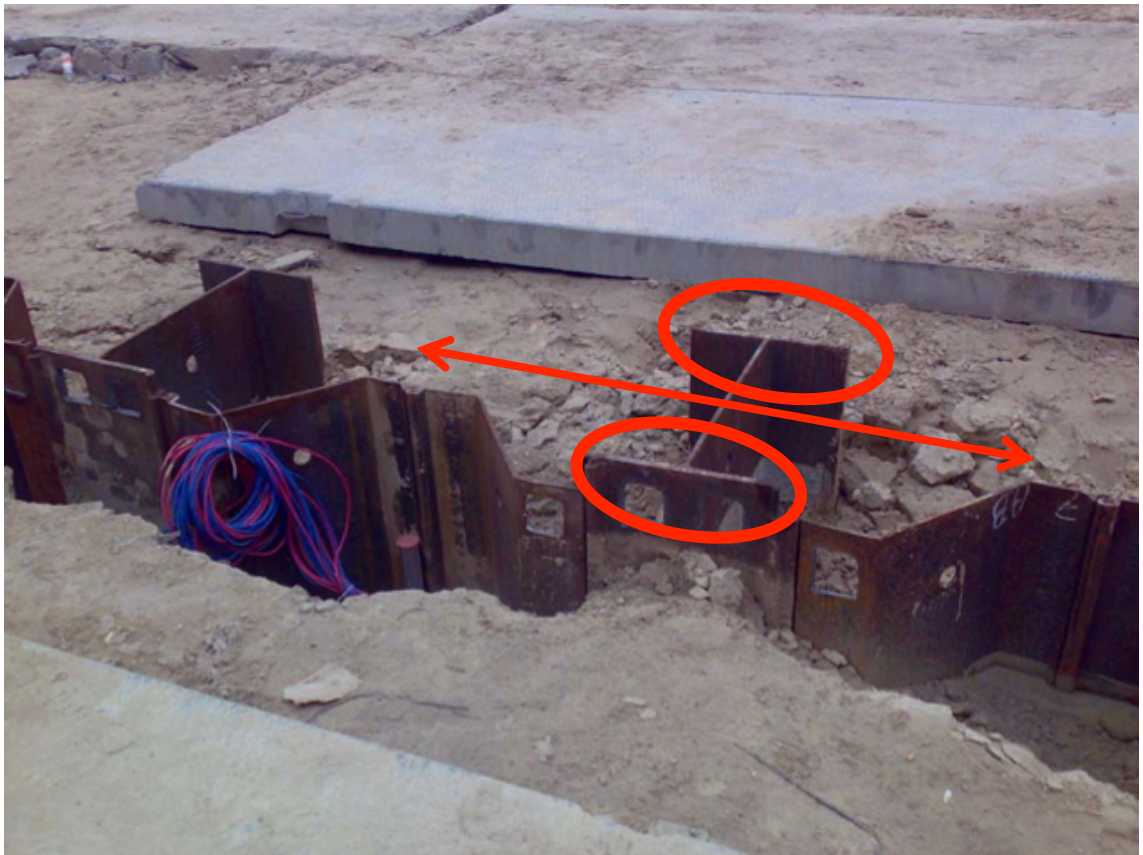
Rakenteen poikkipinta-ala vaikuttaa rakenteen jäykkyyteen enemmän kuin syvyyden lisääminen. Kun poikkipinta-alaa lisätään, niin jäykkyys lisääntyy. Mitä kauempana teräsponttiseinän materiaaliosat ovat ns. neutraaliakselilta (massakeskipisteen akseli), sitä jäykempi on rakenne.

Kuvasta 11 näkyy y-y-akseli, joka on massakeskipisteen mukainen akseli. Mitä kauempana teräsosat ovat kyseisestä akselistä, niin sitä jäykempää tulee.

Esimerkiksi AZ 12-770 pontti olisi samoilla (AZ 12-770 mitoilla) jäykempi kuin AU 14 pontti (Kuva 12), koska AZ 12-770 pontissa ponttilukot ovat kauempana massakeskipisteen akselistä.

Koska erityisesti teräsponttiseinien jäykkyys ei ole kovin suuri verrattuna kaivantoseinään, tarvitaan yleensä aina erilaisia tuentoja (Kuva 2). Erikoisprofiiliponteilla saadaan kaikkein jäykimpiä rakenteita, mutta aiheutuu ylimääräisiä kus-

tannuksia. Suuremmissa kaivannoissa käytetään yleensä ulkopuolista tuentaa, johon liittyy aina myös ankkurointi [3].



Kuva 2. AZ-teräsponnttiseinää, jonka jäykkyyttä on lisätty HZ-teräspalkeilla, joiden päätylaipat ovat kauempana y-y-massakeskipisteen akselilta ja tämä aiheuttaa rakenteen jäykkyyden lisääntymisen pelkkään AZ-profiiliin nähden. [4].

2 Kaivantoseinä

Kaivantoseinät eivät varsinaisesti ole paaluja, mutta niitä voidaan käyttää myös paalujen tapaan siirtämään pystysuuntaisia keskitettyjä kuormia maapohjaan [5]. Kaivantoseinämenetelmän erikoisuus on betoniseinän tekeminen maan sisään ennen varsinaista rakennuskaivantoa (Kuva 3).



Kuva 3. Kaivantoseinän kaivaminen [5].

2.1 Käyttö

Kaivantoseinämenetelmä on suosittu asuinrakennuksissa (Kuva 4) sekä alikul-
kutunnelien, maanteiden ja metrojen rakentamisessa. Seinän hyvän vedenpidä-
tyskyvyn takia rakennusmenetelmä mahdollistaa rantakatujen, satamien,
pumppulaitosten, laiturirakennusten ja makasiinien rakentamisen [6].

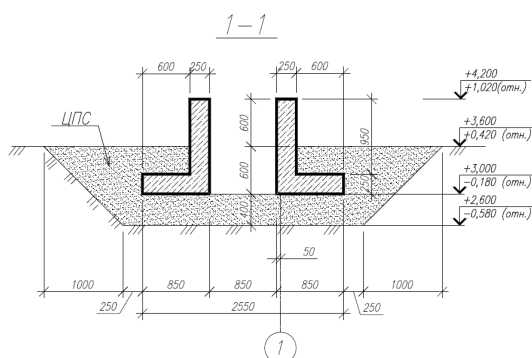


Kuva 4. Kaivantoseinämenetelmän käyttö asuinrakennuksessa [7].

Sen lisäksi kaivantoseinämenetelmä on todettu toimivaksi myös korjausrakentamisessa, sillä se aiheuttaa vain pieniä muodonmuutoksia vieressä olevien rakennuksien perustuksissa [8]. Menetelmä on myös korvaamaton vaikeissa pohjavesiolosuhteissa, sillä se ei välttämättä vaadi kaivannon tyhjästä vedestä tai esimerkiksi esijäädytystä.

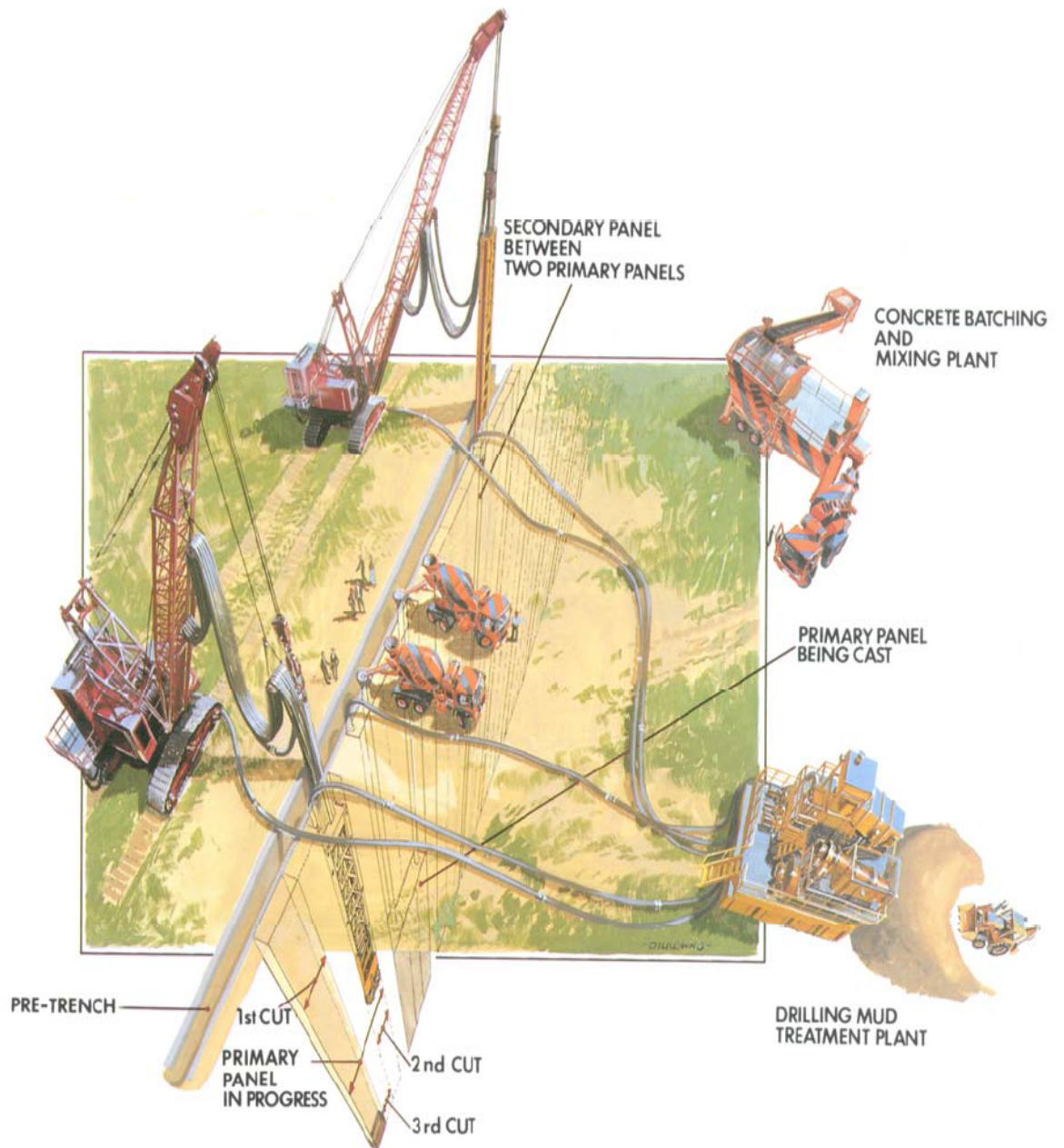
2.2 Työjärjestys

Ensin valetaan teräsbetoninen kaivantomuotti (eli kuvan 4i ja 5 PRE-TRENCH), jonka päällä kaivantoseinän kaivukalusto kulkee.



Kuva 4i: Kaivantomuotti eli ns. pre-trench [6].

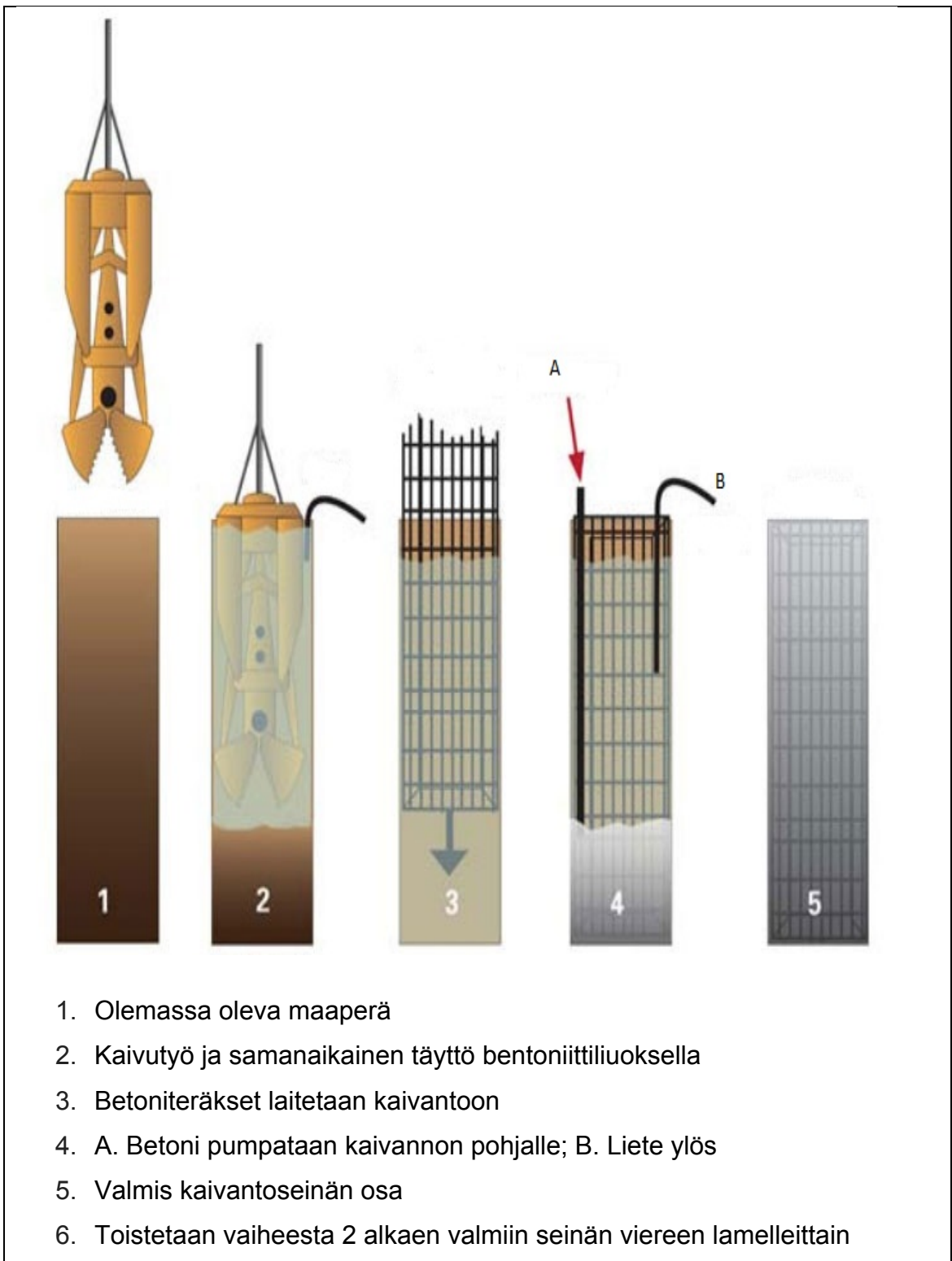
Kaivanto tehdään erikoiskalustolla, jonka alapäässä on leikkuri maan kaivamista varten. Maa-aineksen noston aikana kaivanto täytetään bentoniittiliuoksella (Kuva 5). Liuoksen tehtävä on tuottaa hydrostaattinen paine kaivantoon, jotta seinämät eivät romahda itse kaivantoon. Kun kaivuvaihe on päättynyt, niin kaivanto raudoitetaan (Kuva 6).



Kuva 5. Kaivantoseinän rakentaminen [9].

Kaivantoseinämenetelmällä seinä voidaan toteuttaa 40 m syvyiseksi, erikoislaitteiston avulla jopa 60 m syvyydellä. Kaivuaukko ja seinän vahvuus voi siitä huo-

limatta olla vain 0,4 - 1 m kapea [10]. Seinä toimii tuolloin maanalaisen kaivannon ulkoseinä.



Kuva 6. Kaivantoseinämenetelmän prosessi [11].

2.3 Hyödyt

Kaivantoseinärakennusmenetelmän seinät voivat toimia samanaikaisesti perustuksena maanpäällä olevalle rakennukselle [12]. Kyseinen menetelmä on todettu erittäin käyttökelpoiseksi, kun kuormat maan päälle rakennettavalle rakennukselle ovat tavanomaista suurempia.

Yllä mainitun rakennusmenetelmän tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat [11]:

- Vedenpoistoa ei välttämättä tarvita.
- Vähentää viereisten rakennusten liikkeitä.
- Vähentää korjaustarvetta.

2.4 Haitat

Kaivantoseinämenetelmällä rakentaminen voi olla hankalaa tai täysin mahdotonta, jos maaperän seassa on isoja metallisia esineitä pinnassa [13].

Kaivantoseinämenetelmän heikkoja puolia:

- korkeat rakentamiskustannukset
- vaatii erityislaitteistoa
- vaatii paljon kaivutöitä, kaivumaiden hyödyntäminen vaikeaa
- seinän betonointin laatuvaihtelut
- työvaiheet ovat epäsiistejä
- seinälinjan suoruus vaihtelee [6].

2.5 Kustannusten muodostuminen

Kyseinen menetelmän käyttö mahdollistaa vedenpoisto-, maaperän jäädytys- ja sementointi-työvaiheiden pois jättämisen [14]. Tämä aiheuttaa säästöjä materiaalissa ja työn määrässä. Vaikeissa perustusolosuhteissa kaivantoseinä on ainoa mahdollinen tapa maanalaiselle rakentamiselle [15].

Kaikista hyödyistä huolimatta kaivantoseinämenetelmä on kallis ja aikaa vievä, ja siksi se ei ole kovin yleinen rakennusratkaisu.

3 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseinämenetelmä on profiilin muokattu teräsponttirakennelma, joka toimii rakennuskaivannon tukiseinäenä [16]. Käytännössä se on seinä, joka on rakennettu maahan lyödyistä, vibratuista tai painetuista ponteista (Kuva 7). Yleensä pontit asennetaan ponttilukkoitta toisiinsa.



Kuva 7. Teräsponttiseinämenetelmä [17].

3.1 Käyttö

Teräsponttiseinämenetelmää käytetään samoihin rakennuspaikkoihin kuin kaivantoseinämenetelmääkin, joten kyse on kilpailevasta teknologiasta. Kohteita ovat muun muassa katujen, siltapylväiden, monttujen, maanalaisten pysäköintitilojen, tukiseinien, satamien, pumppulaitosten ja tulvavallien rakentaminen sekä täytemaa-alueet [18] (Kuva 8).



Kuva 8. Teräsponttiseinämenetelmän tukiseinä [19].

Montun kaivannon tuenta voi olla väliaikainen tai olla käytössä varsinaisena seinänä tai seinän osana maanalaisissa rakenteissa.

3.2 Työjärjestys

Ponttiseinän asentamisessa käytetään tyypillisesti kolmea eri asennustekniikkaa: lyönti, täritys (vibra), painaminen tai näiden yhdistelmä [20].

Tyypillisesti teräspontti asennetaan ohjauspalkiston avulla. Ohjauspalkistolla tarkoitetaan ns. sapluunarakennetta, jolloin pontit asettuvat oikeaan kohtaan ja kohtisuoraan, kun teräsponttia aletaan asentamaan. Erikoistapauksissa rakennusmaata voidaan esikäsitellä esimerkiksi esiporaamalla tai muuten häiritsemällä maa-aines, jopa massanvaihto esimerkiksi kiviseen täyttömaahan, että pontti pystytään asentamaan helpommin (Kuva 9).

Pontit kiinnittyvät toisiinsa ponttilukoilla (Kuva 10). Ennen pontin asennusta on tarkistettava ponttilukkojen eheys, jotta pontit pysyvät yhdessä asennuksen ajan [21].



Kuva 9. Teräsponttiseinämenetelmän prosessi [22].



Kuva 10. Teräsponttiseinämenetelmän prosessi [23].

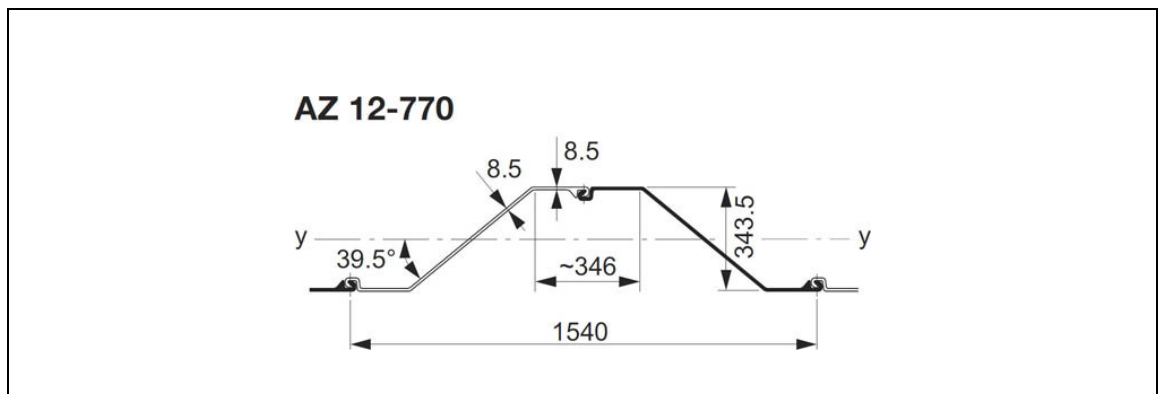
Teräsponttiseinän asentaminen on Pietarissa helppoa, mutta sen jäykkyys on syvissä kaivannoissa usein riittämätön ilman lisätoimenpiteitä. Vaikka pontit ulotetaan yleensä moreenikerrostumiin, on siirtymäongelmia ollut esimerkiksi Moskovan aseman liikekeskuksen, Nevski Palace-hotellin ja Marinski-teatterin rakentamisen ympäristössä. Suihkuinjektointia on käytetty tukiseinien jäykkyyksiä kasvattamisessa ja myös ns. maanalaisen tuen ("kannen") rakentamiseen alimmaksi tukiseinän maan- ja vedenpaineita vastaanottavaksi rakenteeksi [24].

3.2.1 Teräsponttiprofiilit

Teräspontit eritellään ominaisuuksiltaan 5:een eri perustyyppiin ja 3 perustyyppiyhdistelmään. Tyypin valinta riippuu rakentavasta järjestelmästä, kuormituksesta ja käyttöolosuhteista [25].

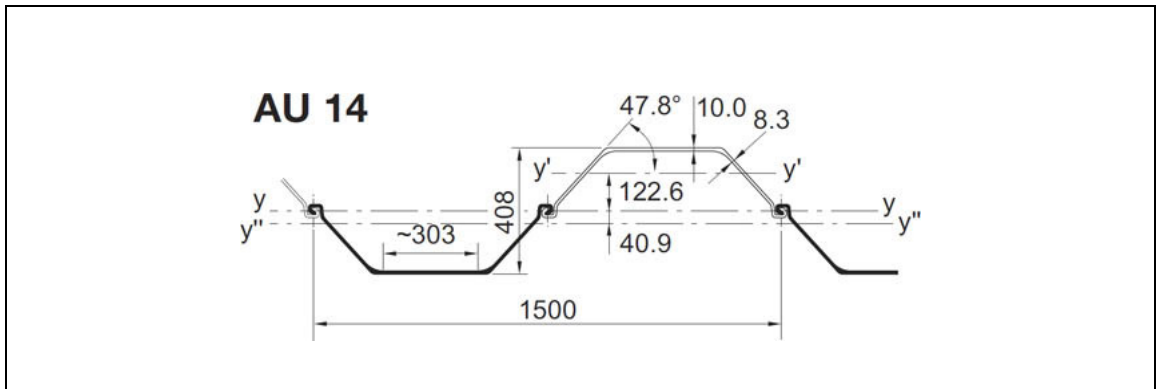
Perustyyppit ovat seuraavat:

- Typpi 1. Z-muotoinen (Kuva 11).



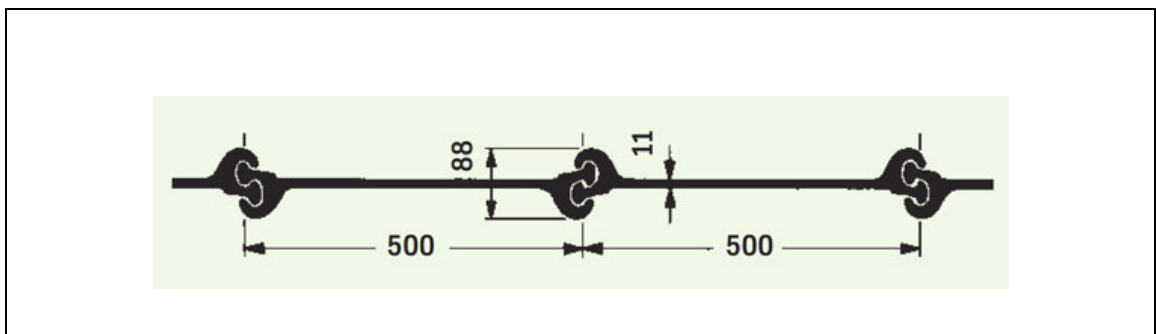
Kuva 11. Z-muotoinen pontti [26].

- Typpi 2. U-muotoinen (Kuva 12).



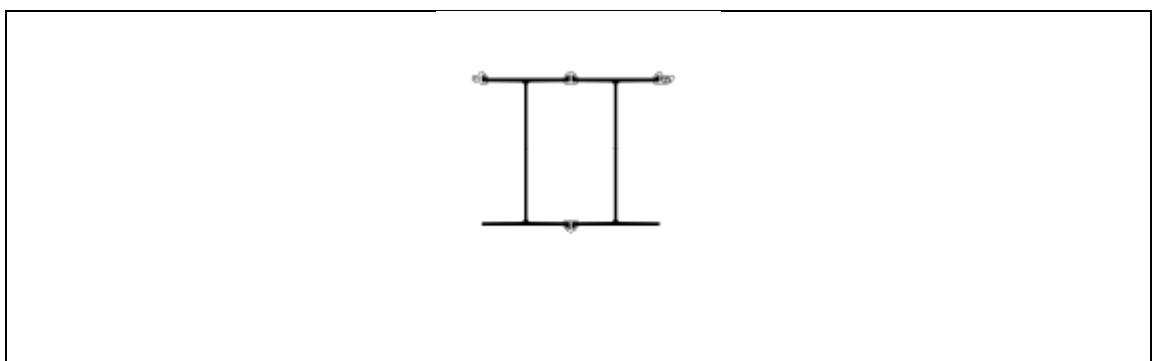
Kuva 12. U-muotoinen pontti [27].

- Typpi 3. Tasomainen kokoonpano (union FL511, Arcelor AZ) (Kuva 13).



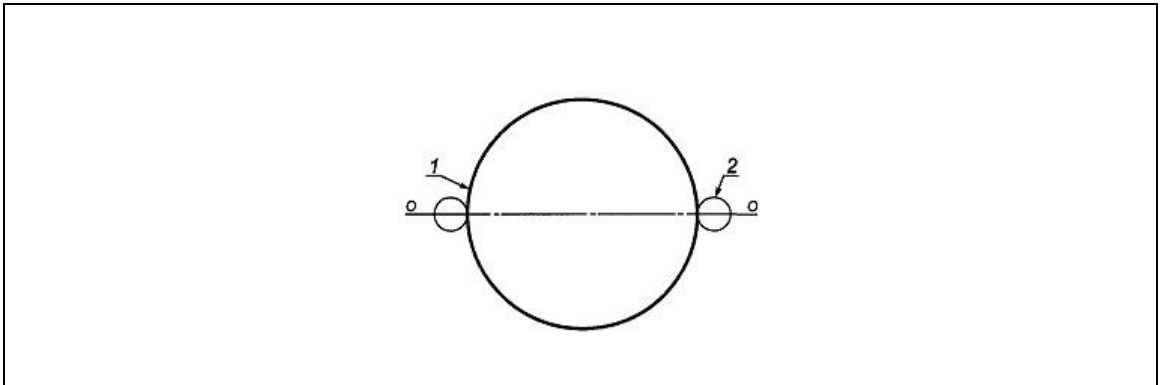
Kuva 13. Tasomainen kokoonpano [27].

- Typpi 4. HZ-tyyppi (Kuva 14).



Kuva 14. HZ-tyyppi [27].

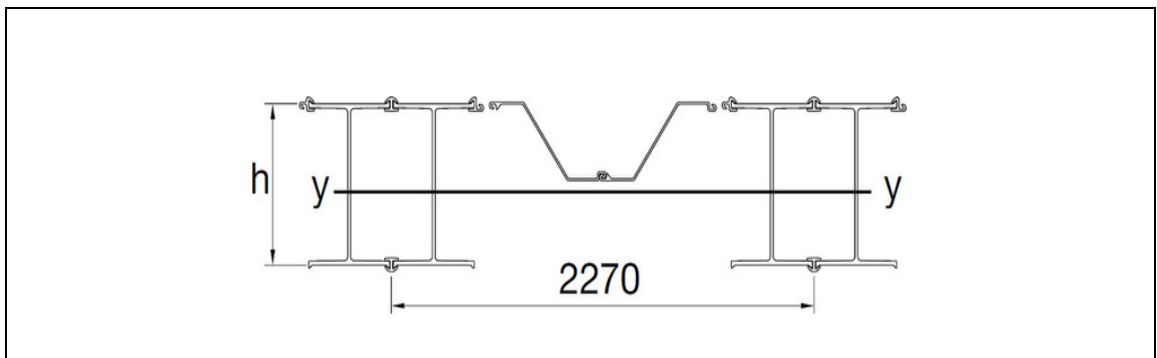
- Tyyppi 5. Putkipaalu (Kuva 15).



Kuva 15. Putkipaalu [27].

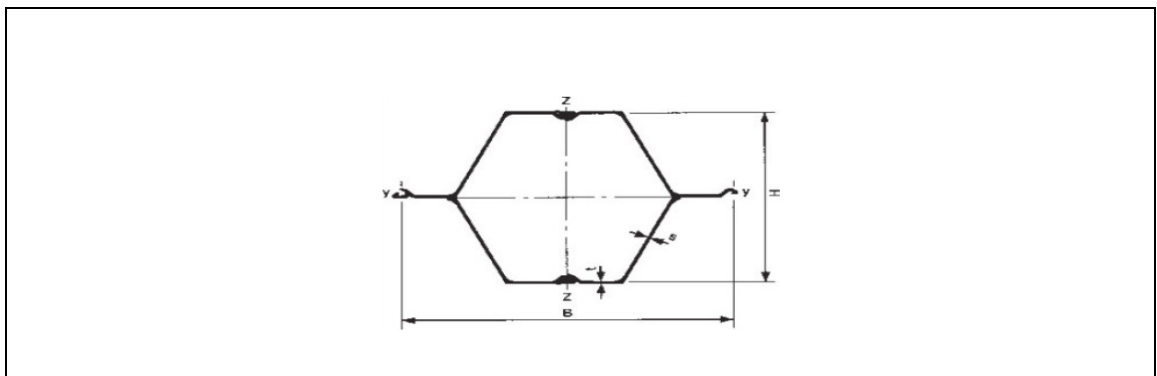
Teräspontteja voidaan toteuttaa eri yhdistelmiin että saavutetaan haluttu rakenteen jäykkyys tai vastaavasti haluttu seinän paksuus. Tyypillisimpiä yhdistelmiä ovat:

- Tyyppi 1. Yhdistelmä HZ-AZ (Kuva 16).



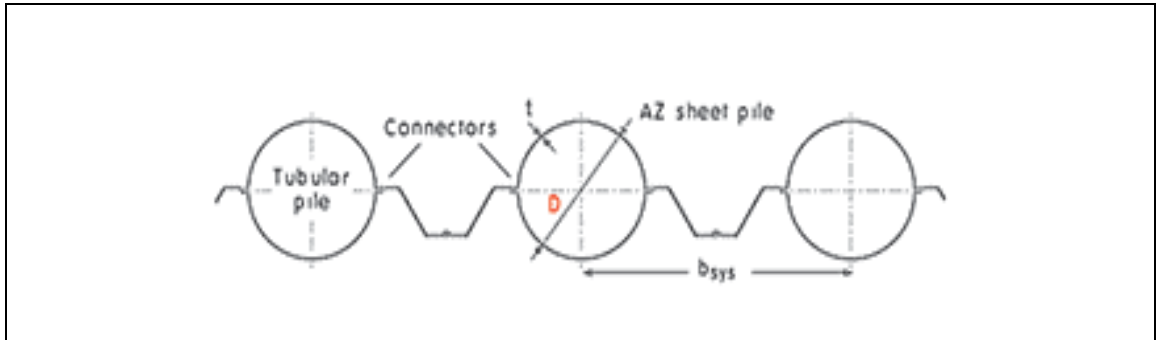
Kuva 16. Yhdistelmä HZ-AZ [27].

- Tyyppi 2. Yhdistetty laatikkomainen kokoonpano (ponttipaaluja) (Kuva 17).



Kuva 17. Yhdistetty laatikkomainen kokoonpano [27].

- Tyypin 3. Putkipontti (Kuva 18).



Kuva 18. Putkipontti [27].

Teräsponttiseinä rakennetaan teräksisistä ponteista. Usein ne valmistellaan putkista, joiden halkaisija on 219 mm, 273 mm, 325 mm, 377 mm, 426 mm, 530 mm ja 630 mm. Mitä syvemmillä pontti on, sitä suurempi on hitausmomentti. Metallisia pontteja voi käyttää toistuvasti. Kun viat on korjattu, paalut ovat taas käyttökelpoisia [28].

3.2.2 Pontin upotustavat

Teräsponttiseinä asennetaan usealla eri tavalla (Kuva 19). Ponttien valinta riippuu mm. kaivannon syvyydestä, työolosuhteista, maaperälaadusta, ympäristövaatimuksista ja ponttiseinän taivutusvastuksesta [20].



Kuva 19. Pontin upottaminen vibraamalla [27].

Pontin voi upottaa seuraavalla tavalla [20]:

1. Pontinlyöminen maaperään. Menetelmä on sopiva maaperälaadusta riippumatta (mutta ei kuitenkaan kelpaa moreeniin eikä louhikkoon). Tapa on nopea ja halpa, mutta aiheuttaa värinää ja liikkeitä maaperään ja riski ponttien vääntymiselle on suurempi kuin muissa menetelmissä.
2. Pontin vibraus maaperään. Vibrauksessa käytetään korkeataajuusvärähtelyä tuottavaa vibraa, jos kyseessä on hiekkapitoinen maaperä. Tämä tapa on keskihintainen, mutta aiheuttaa värinää eikä uppoa kaikkiin maihin.
3. Pontin painaminen maaperään. Paalujen staattinen painauma – upotus savimaiseen ja valuvaan maaperään. Tämä asennustapa on kallis, mutta ei aiheuta värinää.
4. Eri menetelmien erilaiset yhdistelmät.

3.3 Hyödyt

Teräsponttiseinärakennusmenetelmässä on seuraavia hyötyjä:

- Maaperän kaivumäärä on pienempi kuin kaivantoseinämenetelmällä.
- Rakennusajan lyheneminen, koska asennus on nopea.
- Ponttien uudelleenkäyttö on mahdollista [29].
- Pontin poistaminen maaperästä on helppoa.
- Ponttiseinän käyttöaika on pitkäkestoinen vähällä suojalla sekä veden alla että maan päällä.
- Pontteja voidaan jatkaa hitsaamalla.
- Ponttilukkoilla on vähäinen muodonmuutos upotuksessa.
- Menetelmä on varma ja turvallinen [30].

3.4 Haitat

Teräsponttiseinämenetelmän heikkoja puolia:

- Kaivannon detaljit hidastavat ponttien asennusta.

- Suurempi tuennan tarve kuin kaivantoseinärakenteessa, eli ankkurointi tai sisäänpäin tuettu top-down-tapa on hidas.
- Siirtymät voivat olla suurempia kuin kaivantoseinässä.
- Asennuksesta aiheutuu usein melu- ja/tai värinähaittaa.

3.5 Kustannusten muodostuminen

Teräsponttiseinän asentamisen rakentamiskustannuksiin vaikuttavat:

- maaperän laatu ja maamekaaniset ominaisuudet
- suunniteltu rakennus
- kaivannon syvyys
- asennuksesta aiheutuu usein melu ja värinähaitat
- ponttaus syvyys
- naapurirakennukset ja rakennuksen aiheuttama kuorma
- pontin asennustapa
- vedeneristys saumojen hitsaus, injektointi.

4 Kaivantoseinän ja Teräsponttiseinän kustannusvertailu

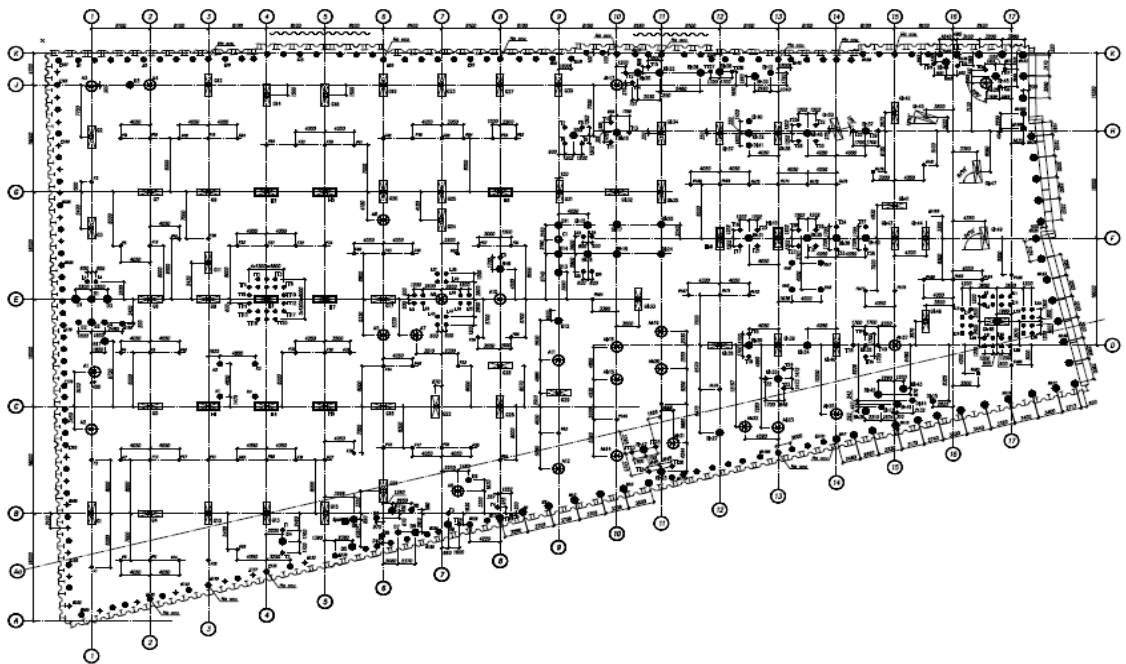
Tässä luvussa vertaillaan molempien seinätyyppien kustannuksia kahden projektin avulla.

Projekti A on kauppakeskus ja projekti B on asuinrakennus, ne molemmat sijaitsevat Pietarin keskustassa.

4.1 Projekti A

Projektina on kauppakeskus ja sen sijainti on Pietarin keskustassa. Kauppakeskus on kooltaan 100.000 neliometriä, josta puolet on myymälä- ja toimistotilaa. Kauppakeskukseen on suunniteltu kokonaispinta-alaltaan runsaan 20.000 neliömetrin suuruinen täysimittainen tavaratalo, muuta vähittäiskauppaa, toimistotiloja sekä maanalainen noin 500 auton paikoituslaitos (Kuva 20).

Projektin kiinteistökehitysvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota tontin tehokkuuden maksimointiin, ja siksi kohde päätettiin toteuttaa siten, että osa kaupallisista tiloista ja koko paikoitusalue päätettiin sijoittaa maan alle. Kohteissa on neljä maan alaista kerrosta ja alin paikotustaso on noin 13 metriä katotasosta syvä.



Kuva 20. Projektin A paalupiirustus, josta selviää teräsponttiseinät [31].

4.1.1 Teräsponttiseinämenetelmän kustannukset

Tässä luvussa tarkastellaan teräsponttiseinien kustannuksia kahden esimerkkiprojektin pohjalta.

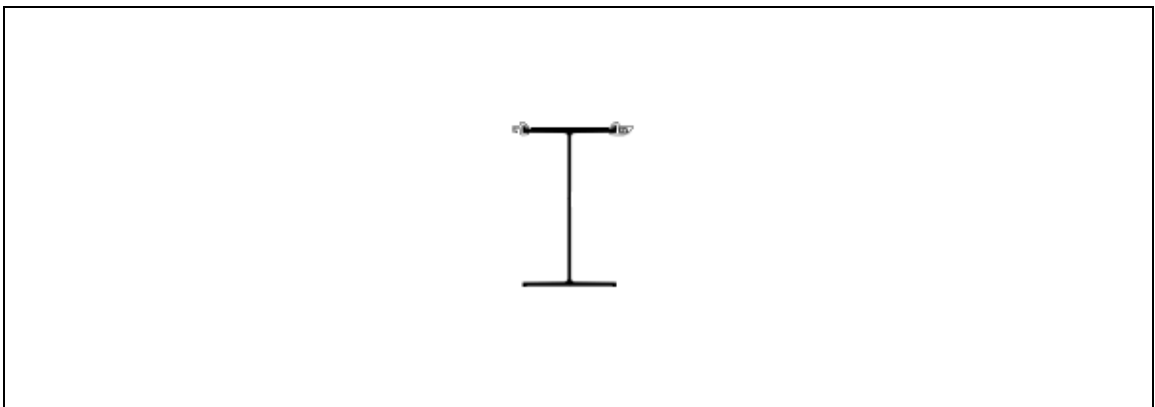
Rakennusprojektin A teräsponttiseinä koostuu kahdesta teräspontista:

1. Teräspontti AZ (Kuva 21).



Kuva 21. Teräspontti AZ [25].

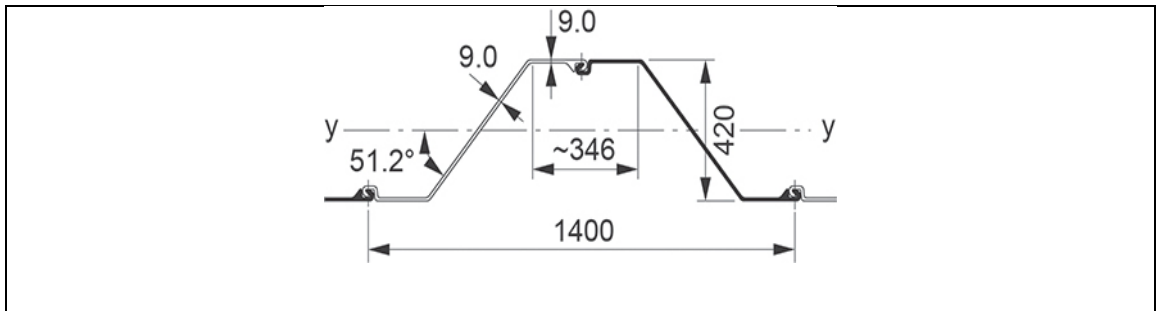
2. Teräspontti HZ (Kuva 22).



Kuva 22. Teräspontti HZ [25].

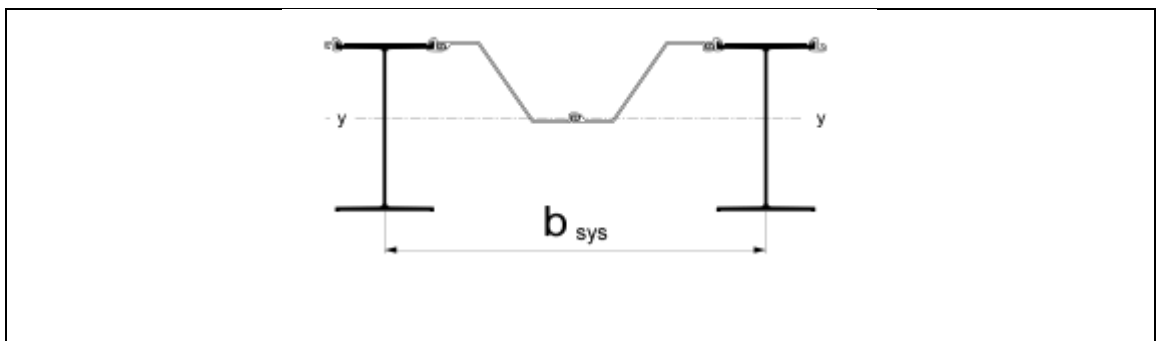
Teräsponttien yhdistelmät muodostuvat kolme eri teräsponttiyhdistelmästä (K):

1. Yhdistelmä 1 (K1): AZ 18-700 (Kuva 23).



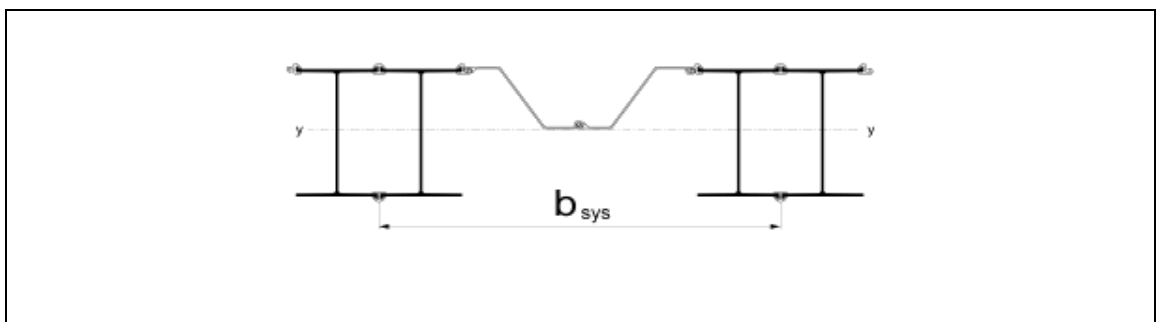
Kuva 23. Yhdistelmä 1 [25].

2. Yhdistelmä 2 (K2): HZM 1080MA-12/AZ 18-700 (Kuva 24).



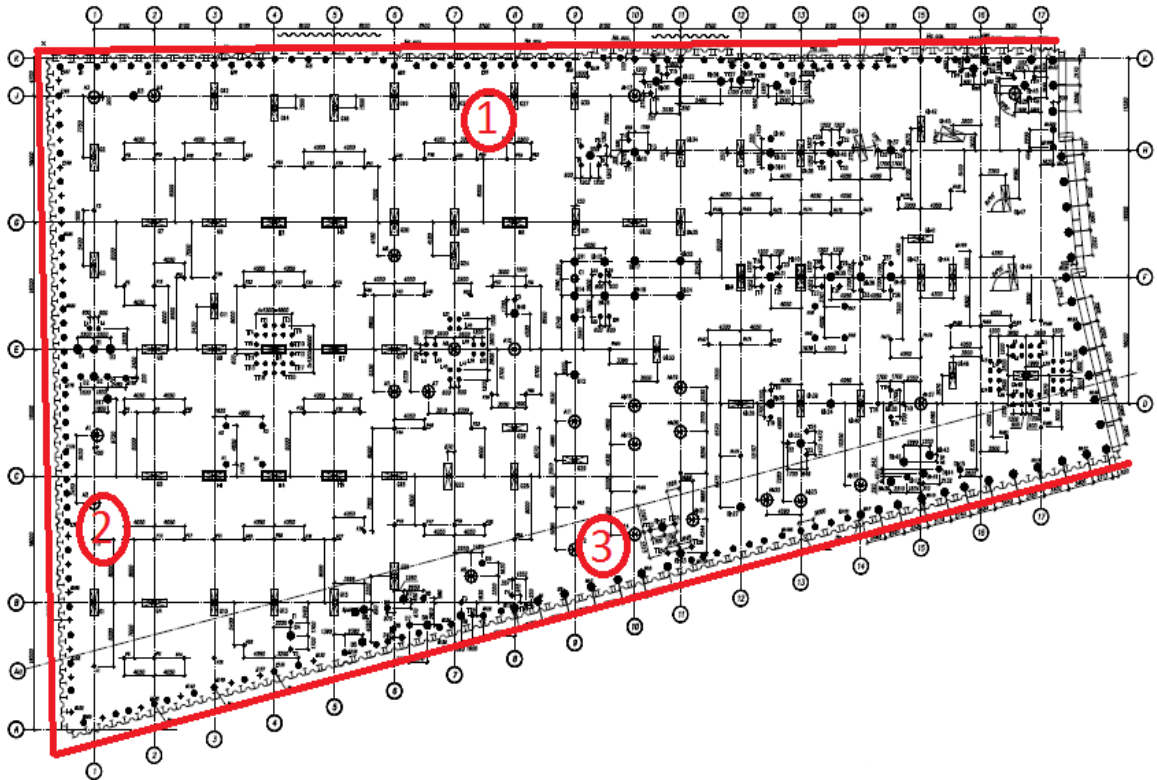
Kuva 24. Yhdistelmä 2 [25].

3. Yhdistelmä 3 (K3): HZM 1080MA-24/AZ 18-700 (Kuva 25).



Kuva 25. Yhdistelmä 3 [25].

Projektissa A toteutettiin vain kolme kuvaan merkittyä seinää teräspontein (Kuva 26).



Kuva 26. Projektin A laskettavat seinät.

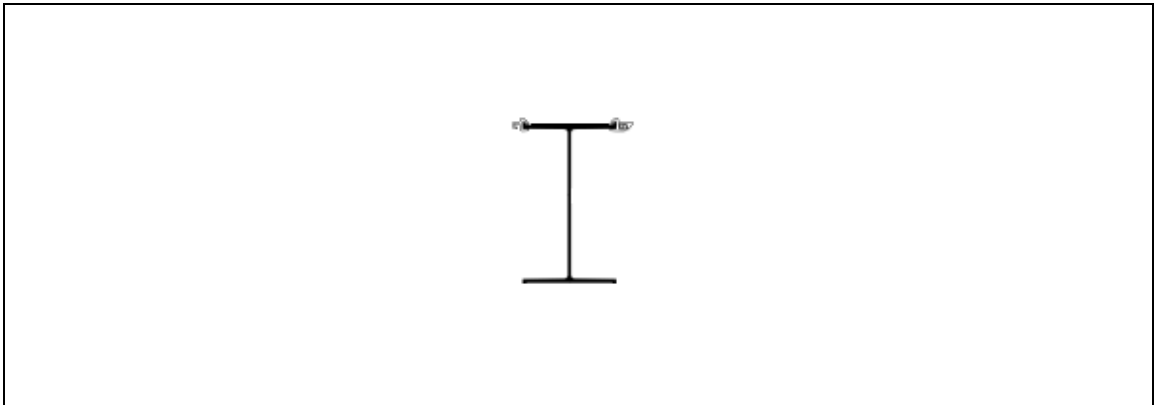
Kohteen A teräsponttiseinien yhdistelmät ovat kolmesta eri teräsponttielementteistä (T):

1. Teräsponttielementti 1 (T1) (Kuva 27).



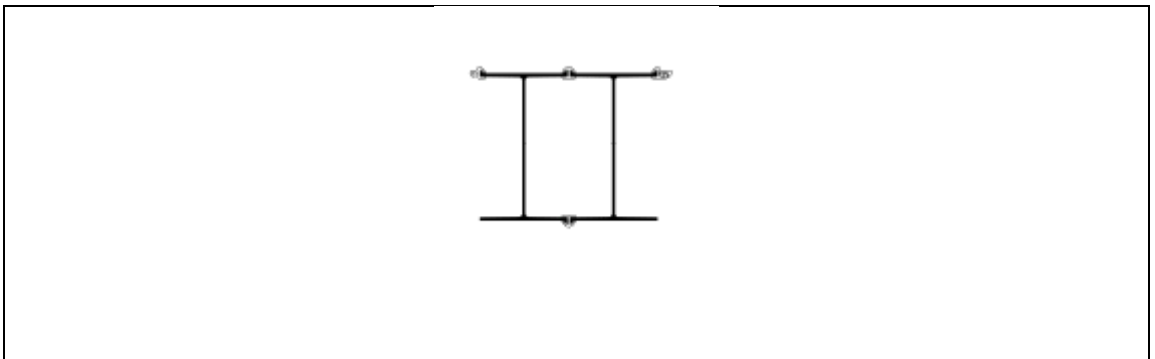
Kuva 27. Teräsponttielementti 1 [25].

2. Teräsponttielementti 2 (T2) (Kuva 28).



Kuva 28. Teräsponttielementti 2 [25].

3. Teräsponttielementti 3 (T3) (Kuva 29).



Kuva 29. Teräsponttielementti 3 [25].

Seuraavassa taulukossa näkyy projektin teräsponttielementtien lukumäärät ponttityypeittäin. (Taulukko 1).

Teräsponttielementtien lukumäärä (T 1km):	
Teräsponttielementti 1 (T1 1km):	177 kpl
Teräsponttielementti 2 (T2 1km):	82 kpl
Teräsponttielementti 3 (T3 1km):	100 kpl

Taulukko 1. Teräsponttielementtien lukumäärät.

Teräspontteja ja yleensäkin rakenneteräksiä myydään kilo- tai tonni-hinnalla. Näin ollen kustannusten kannalta on oleellista selvittää teräsponttiseinän kokonaispaino (Taulukko 2). Ankkurointi on jätetty pois laskennasta.

Teräsponttielementtien paino (m):	
$L = \text{teräsponttien pituus} = 24 \text{ m}$	$m_{T1} \text{ on sama kuin } m_{K1} \text{ ja sen paino on } 76,5 \text{ kg/m}$
$T_1:$	
$m_{T1} = m_{T1} * L = m_{K1} * L = 76,5 \text{ kg/m} * 24 \text{ m} = \mathbf{1836 \text{ kg}}$	$b_{sys} \text{ ja } G100\% \text{ on } K_2:n \text{ tiettyjä vaakioita}$
$T_2:$	
$m_{K2} = b_{sys} * G100\% = 1,927 \text{ m} * 248 \text{ kg/m}^2 = 477,896 \text{ kg/m}$	
$m_2 = ((m_{K2} * L) - (m_{T1} * L)) / 2 = ((477,896 \text{ kg/m} * 24 \text{ m}) - (76,5 \text{ kg/m} * 24 \text{ m})) / 2 = \mathbf{4816,752 \text{ kg}}$	
$T_3:$	
$m_{K3} = b_{sys} * G100\% = 2,398 \text{ m} * 332 \text{ kg/m}^2 = 796,136 \text{ kg/m}$	$b_{sys} \text{ ja } G100\% \text{ on } K_3:n \text{ tiettyjä vaakioita}$
$m_3 = ((m_{K3} * L) - (m_{T1} * L)) / 2 = ((796,136 \text{ kg/m} * 24 \text{ m}) - (76,5 \text{ kg/m} * 24 \text{ m})) / 2 = \mathbf{8636,832 \text{ kg}}$	

Taulukko 2. Teräsponttielementtien kokonaispaino.

Sitten voidaan laskea koko projektin teräsponttielementtien kokonaispaino (Taulukko 3).

Projektin A teräsponttielementtien kokonaispaino (m_{KOK}):	
$m_{KOK} = m_1 * T_{1\text{ kpl}} + m_2 * T_{2\text{ kpl}} + m_3 * T_{3\text{ kpl}} =$	
$1836 \text{ kg} * 177 \text{ kpl} + 4816,752 \text{ kg} * 82 \text{ kpl} + 8636,832 \text{ kg} * 100 \text{ kpl} = 1583628,864 \text{ kg} = \mathbf{1583,6 \text{ tn}}$	

Taulukko 3. Teräsponttiseinän kokonaispaino.

Teräsponttiseinä ei juurikaan ota vastaan pystysuuntaisia kuormia. Sen sijaan kaivantoseinä toimii kantavana rakenteena myös pystysuorille kuormille. Tämän

vuoksi teräsponsittiseinän laskelmiin on lisättävä kustannus, joka huomioi myös pystysuorat rakenteet. Laskelmien yksinkertaistamiseksi projektit ovat lasketut siten, että paaluina toimivat 620 mm porapaalut (Taulukko 4).

Projektin A paaluja:
162 kpl * 24 m = <u>3888 m</u>

Taulukko 4. Projektin A paalujen kokonaispituus.

Nyt näiden tietojen perusteella voidaan laskea projekti A:n teräsponsittiseinän kokonaiskustannus. Teräsponsittien upotustapa on vibraus (Taulukko 5).

Projektin A teräsponsittiseinän kustannukset:		
A. Teräsponsittielementtien hinta = 971,42 €/tn		
B. Teräsponsittielementtien asentaminen = 412,86 €/tn		
C. Paalujen hinta = 192,26 €/m		
A. 971,42 €/tn * 1583,6 tn = 1 538 341 €		
B. 412,86 €/tn * 1583,6 tn = 653 805 €		
C. 192,26 €/m * 3888 m = 747 507 €		
Kokonaiskustannus = A + B + C = 145 254 240 rub = <u>2 939 653 €</u>		

Taulukko 5. Projektin A teräsponsittiseinän kokonaiskustannus.

Tämä perusteella projektin A teräsponsittiseinämenetelmän kokonaiskustannus on 2 939 653 euroa.

4.1.2 Kaivantoseinämenetelmän kustannukset

Jotta rakennusmenetelmien laskelmat olisivat vertailukelpoisia, niin laskelmassa otetaan huomioon myös vain 3 seinää. (Taulukko 6).

Projektissa A lasketaan kaivantoseinän vain 3 eri pituutta 1), 2) ja 3)							
1)	=	136 030	mm				
2)	=	84 700	mm				
3)	=	145 680	mm				

Taulukko 6. Projektin A kaivantoseinän pituudet.

Kaivantoseinän kustannuslaskennassa pitää tietää seinän kokonaistilavuus, koska sen hinta lasketaan kuutiometrien avulla. Kun teräsponttien syvyydet olivat 24 metriä, niin tässäkin lasketaan kaivantoseinän syvyys saman syvyyden mukaan. Teräsponttien jäykkyys oletetaan saman suuruiseksi kuin 800 mm vahvan kaivantoseinän jäykkyys. Näin ollen kaivantoseinän tilavuuden laskemisessa käytetään seinämävahvuutena 800 mm (Taulukko 7). Kaivantoseinän hinta lasketaan kuutiometrissä ja se sisältää kaikki tarvittavat kaivutyöt ja betonoinnin.

$L =$ kaivantoseinän syvyys	$=$	24	m				
$P =$ kaivantoseinän paksuus	$=$	0,8	m				
$X =$ kaivantoseinän pituus	$=$	1) + 2) + 3)					
$Z =$ kaivantoseinän hinta	$=$	514,05	€/m ³				
$V =$ kaivantoseinän tilavuus	$=$	$L * P * X$					

Taulukko 7. Projektin A kaivantoseinän tietoja.

Kun tiedetään kaikki tarvittavat muuttujat, niin voidaan laskea projektin A kaivantoseinän kokonaiskustannus (Taulukko 8).

Projektin A kaivantoseinän kustannukset:									
$X = 1) + 2) + 3) = 136\,030\text{ mm} + 84\,700\text{ mm} + 145\,680\text{ mm} = 366\,590\text{ mm} = 366,59\text{ m}$									
$V = L * P * X = 24\text{ m} * 0,8\text{ m} * 366,59\text{ m} = 7\,038,528\text{ m}^3$									
Kokonaiskustannus = $V * Z = 7\,038,528\text{ m}^3 * 514,05\text{ €/m}^3 = \underline{\underline{3\,618\,155\text{ €}}}$									

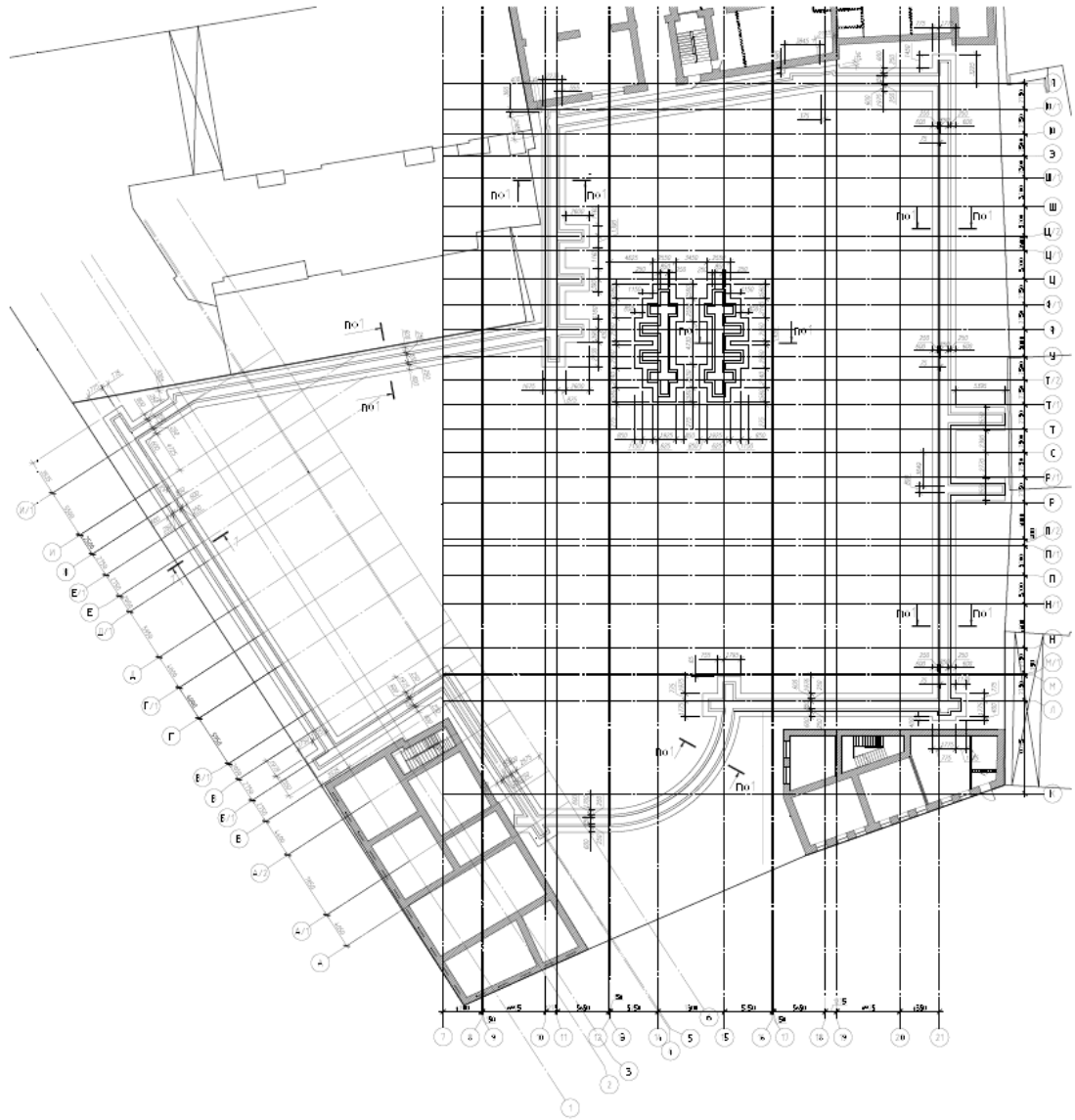
Taulukko 8. Projektin A kaivantoseinän kokonaiskustannus.

Laskelmien mukaan projektin A kaivantoseinämenetelmän kokonaiskustannus on 3 618 155 euroa.

4.2 Projektin B

Projektin B on asuinrakennuskohde, joka sijaitsee Pietarin keskustassa. Maa-alueen pinta-ala on 0,75 ha. Kohde sisältää yhteensä 9 kerrosta, joista kaksi maanalaista parkkikerrosta, yksi maanpäällinen kaupallinen kerros ja 6 maanpäällistä asuinkerrosta.

Projektin kokonaispinta-ala on noin 30.000 neliometriä (Kuva 30), joista saneerattava pinta-ala 3.500 neliometriä, uudisrakennuksen pinta-ala 16.000 neliometriä, kaupallinen tila 3.200 neliometriä.



Kuva 30. Projektin B kaivantoseinämuottien mittapiirustus [32].

4.2.1 Kaivantoseinämenetelmän kustannukset

Projektissa B lasketaan kaivantoseinän pituus poistamalla väliaikaiset betonituet. Näin laskelmasta saadaan vertailukelpoinen teräsponttiseinälaskelman kanssa. Teräsponttiseinän laskelmassa ei myöskään huomioida seinän väliaikaisia tukirakenteita.

Kuvassa näkyy punaisella merkitty projektiin jäävä kaivantoseinä, ja vihreillä ympyröillä on merkitty väliaikaiset betonituet (Kuva 31).



Kuva 31. Projektin B laskettava seinä.

Kaivantoseinässä lasketaan ensin seinän tilavuus, kuten projektissa A (Taulukko 9).

A	= kaivantoseinän kokonaispituus = 312 000 mm
B	= kaivantoseinän väliaikaiset betonituet = 31 865 mm
L	= kaivantoseinän syvyys = 24 m
P	= kaivantoseinän paksuus = 0,8 m
X	= kaivantoseinän pituus = A - B
Z	= kaivantoseinän hinta = 514,05 €/m ³
V	= kaivantoseinän tilavuus = L * P * X

Taulukko 9. Projektin B kaivantoseinän tietoja.

Projektin B kaivantoseinän kustannukset:	
$X = A - B = 312\,000\text{ mm} - 31\,685\text{ mm} = 280\,315\text{ mm} = 280,14\text{ m}$	
$V = L * P * X = 24\text{ m} * 0,8\text{ m} * 280,14\text{ m} = 5\,378,688\text{ m}^3$	
Kokonaiskustannus = $V * Z = 5\,378,688\text{ m}^3 * 514,05\text{ €/m}^3 = \underline{\underline{2\,764\,915\text{ €}}}$	

Taulukko 10. Projektin B kaivantoseinän kokonaiskustannus.

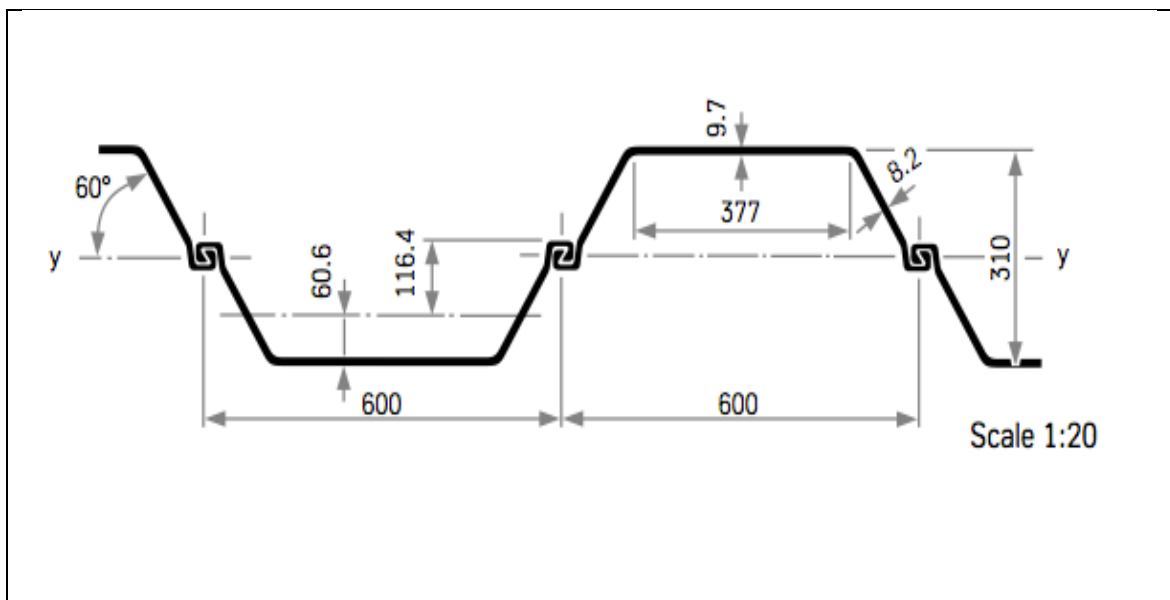
Projektin B kaivantoseinämenetelmän kokonaiskustannus on 2 764 915 euroa.

4.2.2 Teräsponttiseinämenetelmän kustannukset

Jotta voidaan vertailla rakennusprojektien menetelmien kustannuksia, niin lasketaan projektin B teräsponttiseinän kustannukset erilaisilla pontilla kuin projektissa A.

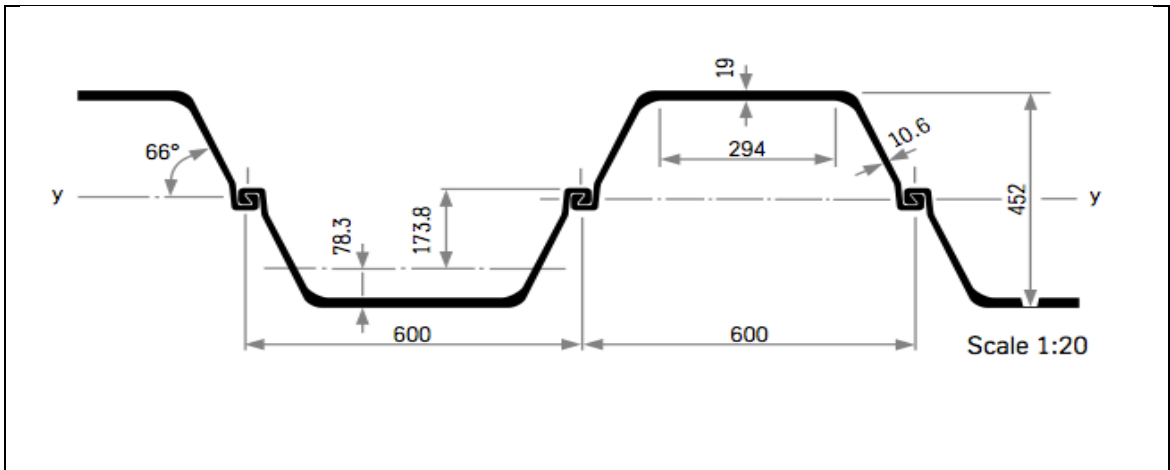
Projektin B teräsponttiseinä koostuu kahdesta eri ponttityyppistä:

1. Larssen 603 (Kuva 32)



Kuva 32. Larssen 603.

2. Larssen 607 (Kuva 33)



Kuva 33. Larssen 607.

Seuraavassa taulukossa näkyy projektin B teräsponttielementtien kokonaispaino (Taulukko 11).

Projektin B teräsponttielementtien kokonaispaino:	
Teräsponttiseinän pituus on 312 m	
Teräsponttiseinän syvyys on 24 m	
Käytettävien ponttien paino:	
Larssen 603	108 kg/m ²
Larssen 607	190 kg/m ²
Käytettävien ponttien prosenttisuhde seinässä:	
Larssen 603	42%
Larssen 607	58%
↓	
Larssen 603	$312 \text{ m} * 24 \text{ m} * 0,42 = 3\ 144,96 \text{ m}^2$
Larssen 607	$312 \text{ m} * 24 \text{ m} * 0,58 = 4\ 343,04 \text{ m}^2$
↓	
Larssen 603	$3144,96 \text{ m}^2 * 108 \text{ kg/m}^2 = 339\ 655,68 \text{ kg}$
Larssen 607	$4\ 343,04 \text{ m}^2 * 190 \text{ kg/m}^2 = 825\ 177,60 \text{ kg}$
Kokonaispaino = 339 655,68 kg + 825 177,60 kg = 1 164 833,28 kg = <u>1164,8 tn</u>	

Taulukko 11. Projektin B teräsponttielementtien kokonaispaino.

Seuraavana lasketaan paalujen kokonaispituus samalla tavalla kuin projektissa A (Taulukko 12).

Projektin B paaluja:
124 kpl * 24 m = <u>2976 m</u>

Taulukko 12. Projektin B paalujen kokonaispituus.

Nyt voidaan laskea koko projektin teräsponttiseinän kokonaiskustannus (Taulukko 13).

Projektin B teräsponttiseinän kustannukset:
A. Teräsponttielementtien hinta = 971,42 €/tn
B. Teräsponttielementtien asentaminen = 412,86 €/tn
C. Paalujen hinta = 192,26 €/m
A. 971,42 €/tn * 1164,8 tn = 1 131 510 €
B. 412,86 €/tn * 1164,8 tn = 480 899 €
C. 192,26 €/m * 2967 m = 570 435 €
Kokonaiskustannus = A + B + C = <u>2 182 844 €</u>

Taulukko 13. Projektin B teräsponttiseinän kokonaiskustannus.

Projektin B teräsponttiseinämenetelmän kokonaiskustannus olisi 2 182 844 euroa.


4.3 Kustannusvertailun saadut tulokset

Projektien A ja B molempien maanalaisen rakennusmenetelmien, kaivantoseinä ja teräsponttiseinä, kokonaiskustannuksien vertailu.

Saatujen tuloksien mukaan molemmissa projekteissa teräsponttiseinämenetelmä on halvempi kuin kaivantoseinämenetelmä,

ensimmäisessä tapauksessa 18,75 prosenttia ja toisessa 21,05 prosenttia (Taulukko 14). Toisin sanoen, 100.000 neliömetrin kokoisessa kauppakeskudessa tilaaja voi säästä 687 502 euroa ja 30.000 neliömetrin kokoisessa asuintalossa 756 809 euroa käyttäen teräsponttiseinämenetelmää.

	Kaivantoseinä	Teräsponttiseinä
Projekti A	3 618 155 €	2 939 653 €
Projekti B	2 764 915 €	2 182 844



Projekti A	$100\% - ((2\,939\,653 / 3\,618\,155) * 100\%) = \underline{18,75\%}$	Projektin A teräsponttiseinämenetelmä on halvempi kuin kaivantoseinämenetelmä 18,75 prosentilla
Projekti B	$100\% - ((2\,182\,844 / 2\,764\,915) * 100\%) = \underline{21,05\%}$	Projektin B teräsponttiseinämenetelmä on halvempi kuin kaivantoseinämenetelmä 21,05 prosentilla

Taulukko 14. Projektien A ja B kustannusvertailun antavat tulokset.

5 Maanalaisen pysäköintilaitoksen ulkoseinätyypin valinta

5.1 Kaivanto- vai teräsponttiseinä: yleistä

Teräsponttiseinä ja kaivantoseinämenetelmät ovat kaksi täysin erilaista rakennusmenetelmää, ja molemmilla on omat hyvät ja huonot puolensa.

Joissakin tapauksissa kaivantoseinämenetelmä on korkeista kustannuksista huolimatta optimaalisin tapa maanalaisen pysäköintitilan rakentamiseksi. Kaivantoseinän rakentamista kannattaa harkita silloin, kun:

- rakennettava rakennus rajoittuu vanhoihin säilytettäviin rakennuksiin
- maamekaaniset muodonmuutokset pyritään minimoimaan
- maa-aines ei sisällä isoja kiviä
- maan yläpuoliset rakenteet aiheuttavat suuren kuorman perustuksille.

Teräsponttiseinän rakentamista kannattaa harkita silloin, kun:

- projektin kustannusrakenne ei kestä kaivantoseinämenetelmän käyttöä
- maamekaanisille muutoksille ei ole rakenteellisia vaikutuksia ympäristöön
- maa-aines on sellaista että teräspontit voidaan asentaa.

Rakennusmenetelmän valintaan vaikuttavat lähes poikkeuksetta seuraavat tekijät tärkeysjärjestyksessä:

1. turvallisuus ja maamekaaniset muutokset (olemassa olevat rakenteet)
2. rakentamiskustannukset
3. työaika
4. projektin vaikeusaste.

5.2 Kaivanto- vai teräsponttiseinä: turvallisuus

Kaivanto- ja teräsponttiseinämenetelmien turvallisuudessa pitää huomioida työmaan olosuhteet, suojausmenetelmät, elementtien vastaanotto ja varastointi, nostot, elementtien asennus ja mahdolliset hätätilanteet.

Kaivantoseinämenetelmä hyvin sopii, kun rakennetaan muiden rakennuksien

läheisyydessä, koska se aiheuttaa usein pienemmät muodonmuutokset naapurirakennusten perustuksille. Asia on kuitenkin hyvin spekulatiivinen ja asiasta kuitenkin kiistellään jatkuvasti kaivantoseinän ja teräsponttiseinän kannattajien kesken. Teräsponttiseinä on turvallinen ja varma menetelmä, mutta se aiheuttaa usein suuremman melu- ja värinähaitan rakennettavaan ympäristöön.

5.3 Kaivanto- vai teräsponttiseinä: kustannukset

Tämän työn tutkimuksen mukaan molemmissa rakennusprojektissa teräsponttiseinä-menetelmä tuli noin 20 prosenttia halvemmaksi kuin kaivantoseinämenetelmä.

Yleensä jos rakennusprojektissa on mahdollista käyttää molempia rakennusmenetelmiä ja hinta on niiden ainut ero, niin rakentamiskustannukset vaikuttavat tuentatavan valintaan ratkaisevasti, eikä kaivantoseinämenetelmä siksi ole kovin yleinen rakennusratkaisu.

5.4 Kaivanto- vai teräsponttiseinä: työaika

Teräsponttiseinämenetelmän rakennusaika on usein lyhyempi kuin kaivantoseinämenetelmän, koska ponttien asentaminen ja purkaminen on nopeaa ja seiniä voidaan käyttää uudelleen. Tämän rakennusmenetelmän työaika riippuu vielä valitusta ponttien upotustavasta. Kaikista nopein tapa ponttien asentamiseen on lyöminen, toiseksi nopein on vibraus ja sen jälkeen paalujen staattinen painaminen.

Kaivantoseinämenetelmä on pitkä ja monimutkainen prosessi. Se vaatii paljon kaivutöitä ja myös betonin kuivaaminen kestää pitkään. Kaivantoseinät ovat hitaita rakentaa, mutta koska ne jäävät osaksi pysyvää rakennetta, niiden teko on joskus perusteltua.

5.5 Kaivanto- vai teräsponttiseinä: vaikeusaste

Tukiseinän valintaan vaikuttaa merkittäväksi vielä työmaan pohjaolosuhteet, vesitiiviys, kaivannon syvyys ja laajuus, ympäristö sekä tukiseinän käyttö lopullisena rakenteena.

Vaikeissa perustamisolosuhteissa, kuten vaikeissa pohjavesiolosuhteissa, kaivantoseinä on ainoa mahdollinen tapa maanalaiselle rakentamiselle, koska se ei vaadi kaivannon tyhjäystä vedestä. Ainut menetelmän vaikeus on, jos maaperän seassa on isoja kivia tai esineitä ja niiden takia kaivantoseinämenetelmällä rakentaminen voi olla hankalaa tai täysin mahdotonta. Kaivantoseinämenetelmä vaatii myös erityislaitteistoa, mutta Pietarissa on mahdollista vuokrata nämä kalustot vaikkapa sellaisilta venäläisiltä yrityksistä, kuten Geoizol, KARTS ja Geostroy.

Teräsponttiseinän upottamiseksi on erittäin tärkeää valita oikea upotustapa, ja onnistunut upottaminen vaatii sopivan kaluston olosuhteista riippuen.

Lähteet

- [1] Hakulinen M. 2011. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. s. 16. Luettu 12.5.2014.
- [2] Centrobank. www.cbr.ru. Luettu 08.05.2014.
- [3] Pohjarakennus. Rak-50.2126 Geotekniikka. Luettu 10.5.2014
- [4] Hakulinen M. 2011. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. s. 66. Luettu 12.5.2014.
- [5] Hakulinen M. 2011. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. s. 38. Luettu 12.5.2014.
- [6] Kolesnikov V.S., Strelnikov V.V.. 1999. "Vozvedenie podzemnyh sooruzhenij metodom Stena v grunte".
- [7] ZAO "SPKRON".
<http://www.grouting.ru/объекты/электросталь/>. Luettu 1.5.2014
- [8] Jakobjuk N.. 2008. StrojProfil, Podzemnie prostranstva v gorodskoj zastrojke.
- [9] Hakulinen M. 2011. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. s. 54. Luettu 8.5.2014.
- [10] OOO SvajStrojService, 2014.
<http://www.ssservice.ru/services/stena-v-grunte.html>. Luettu 10.3.2014.
- [11] Foundation equipment, Advantages and disadvantages Slurry Walls definition, August 2012.
<http://foundationequipment.wordpress.com/2012/08/15/advantages-and-disadvantages-slurry-walls-definition/>. Luettu 18.3.2014
- [12] Strojizdat M.. 1985. Osnovaniya, fundamenti i podzemnie sooruzhenija. Spravchnik proektirovshika.
- [13] Ljahnizkij V. E.. 1955. Portovie gidrotehicheskie sooruzhenija.
- [14] Shpric M.. 2011. Stockmann Nevsky Center.
- [15] Tehnologija vozvedenija zdaniy i sooruzhenij, Tehnologija "stena v grunte" dlja ustrojstva podzemnyh sooruzhenij. 2014.
<http://tvzis.ru/gl6/index6.html>. Luettu 15.3.2014
- [16] Godes E. G., Shashkov S. A., Baum V. A.. 1961. Ukreplenie beregov rek na zavodskih territorijah.

- [17] OOO "FRIZ".
<http://friz-sk.ru/Pogruzhenie-shpunta.html>. Luettu 17.4.2014
- [18] Sokolov N. M., Shashkov S. A.. 1949. Primenenie metallicheskogo shpunta pri ustrojstve gidrotehnicheskikh sooruzhenij.
- [19] EKOPETROBALT-S.
<http://ecopetrobalt.ru/objekty/ukrepleniye-berega-i-otkosa/>. Luettu 15.4.2014
- [20] TPK Stroj, Shpuntoviiie raboti, 2010.
http://www.tpk-stroy.spb.ru/shpunt_works. Luettu 23.3.2014.
- [21] Stroj puls, Shpunti Arcelor
http://www.stroy puls.ru/vipusk/detail.php?article_id=28761. Luettu 3.4.2014
- [22] Maanrakennuspalvelu. Mikko Lyytinen Oy.
<http://www.maanrakennuslyytinen.fi/?page=puutarhakatu>. Luettu 12.5.2014.
- [23] Electromax. Faktori kotorie vlijajut na vodonepronicaemost zamkov.
http://www.electromax.by/shpunt_larsena_gidroizolyaciya.html. Luettu 12.5.2014
- [24] Hakulinen M. 2011. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. s. 49.
Luettu 8.5.2014.
- [25] ArcelorMittal Commercial RPS S.a.r.l., Foundation Solutions. 2014.
- [26] GEOMAKS. Spravochnik: Shpunti.
<http://geomax-spb.ru/shpunky>. Luettu 18.3.2014.
- [27] Arbat Stroj Grupp.
<http://arbatsg.ru/uslugi-arendy/arenda-vibropogruzhatelya.html>. Luettu 5.5.2014.
- [28] Fordteco S.R.L., Burovie raboti, Ustrojstvo shpuntovih sten.
http://foraj.md/drilling_operations/1. Luettu 18.3.2014
- [29] Enciklopedija burenija, Shpuntovoe ograzhdenie kotlovanov, 2012.
<http://www.drilling-msk.ru/shpuntovoe-ograzhdenie-kotlovanov>. Luettu 15.3.2014.
- [30] Deepexcavation LLC, Sheet pile walls.
<http://www.deepexcavation.com/en/sheet-pile-walls>. Luettu 7.3.2014.
- [31] Tilaajalta saattu PDF. Projektin A paalupiirustus. Luettu 15.3.2014

[32] Tilaaajalta saattu PDF. Projektin B kaivantoseinämuottien mittapiirustus. Luettu 16.3.2014