

Niko Viitanen

Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

24.4.2015

Tekijä Otsikko	Niko Viitanen Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 24.4.2015
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaajat	työmaainsinööri Tapio Mettänen lehtori Mika Räsänen
<p>Mestarityön ideana oli keskittyä tutkimaan tunnelilouhintatyömaan kustannusrakennetta. Tutkimustyö tehtiin Lemminkäinen Infran kalliorakentamisen yksikölle.</p> <p>Tutkimuksessa rakennusprojekti pilkottiin neljään osaan: hanketehtävät, louhintatyöt, lujitustyöt ja louheen käsittely. Kaikki osa-alueet pilkottiin pienempiin osiin ja käsiteltiin työvaiheittain. Hanketehtävät tarkasteltiin kuukausitasolla, minkä tarkoituksena oli havainnollistaa aikasidonnaisia kustannuksia.</p> <p>Kaikista työvaiheista tehtiin kustannuslaskelma joka käsiteltiin, joista saatiin kokonaisen tunnelikatkon kustannus.</p> <p>Louheen käsittelyn kustannuksia ei käsitelty projektissa, koska se ei ole työnjohtajan näkökulmasta oleellista.</p> <p>Tutkimuksessa paljastui, että lujitustyöt ovat isoin työvaihe kustannuksellisesta näkökulmasta. Hanketehtävien laskelma kumosi työnjohtajien keskuudessa yleisen käsityksen siitä, että töitä voidaan tehdä huoletta urakka-ajan puitteissa. Työnjohtajatasolla ei ollut huomioitu aikasidonnaisia kustannuksia.</p>	
Avainsanat	kivi, tunneli, räjäytys, kustannukset

Author Title Number of Pages Date	Niko Viitanen Cost Structure of Tunnel Construction Site 40 pages + 1 appendi 24 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	Environmental Construction
Instructors	Tapio Mettänen, Site Engineer Mika Räsänen, lecturer
<p>The idea of this project was to focus cost structure of a tunnel construction site. The research work was made for Lemminkäinen Infra.</p> <p>The construction project was divided into four parts: project functions, blasting work, rock reinforcement and handling of blasted rock. All components were chopped into smaller pieces and all working phases were handled on their own. The costs of project functions were handled in one month periods.</p> <p>There were made cost calculations by every work phases. Those calculations assembled the whole tunnel round.</p> <p>The cost of handling the blasted rock was not handled in this research, because it is not essential for a foreman.</p> <p>It was discovered that rock reinforcement is biggest working phase it terms of costs. The calculation of project functions made it clear that building projects should be completed as quickly as possible.</p>	
Keywords	rock, tunnel, blasting, costs

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn rajaus	1
1.2	Työn tavoite	1
2	Tilaaajayritys	2
2.1	Toiminta	2
2.2	Maanalainen rakentaminen	2
3	Yleistä tunnelilouhinnasta	3
3.1	Tunnusteluporaus ja hydraulinen testaus	3
3.2	Injektointi	5
3.3	Poraus	8
3.4	Panostus	12
3.5	Lastaus	14
3.6	Rusnaus	15
3.7	Pultitus	16
3.8	Ruiskubetonointi	17
4	Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne	22
4.1	Lujitustyöt	23
4.1.1	Ruiskubetonointi	24
4.1.2	Ruiskubetonisalaajat	26
4.1.3	Injektointi	27
4.1.4	Pultitus	29
4.2	Louhintatyö	31
4.2.1	Poraus	31
4.2.2	Panostus	32
4.3	Hanketehtävät	33
4.3.1	Toimihenkilöstö	33
4.3.2	Yleiskulut	34
4.3.3	Työmaamittaukset ja laadunvarmistus	35
4.3.4	Työmaapalvelut	35
5	Pohdinta	38
6	Yhteenveto	39

Liite 1. Hanketehtävien kuukausittaiset kustannukset

1 Johdanto

Kaikessa rakentamisessa ja kannattavassa liiketoiminnassa on kyse kustannustehokkaasta tuotannosta. Yhdellä tunnelilouhintatyömaalla on yleensä vähintään kaksi työvuoroa, jossa kummassakin on oma vuorotyöjohtajansa. Vuorotyöjohtajan tehtävä on teettää työ tehokkaasti, turvallisesti ja ennen kaikkea työn on oltava taloudellisesti kannattavaa.

Projektin tilaajalla (Lemminkäinen Infra Oy) on käynnissä monia tunnelilouhintatyömaita Pohjoismaissa. Tutkimustyö tehdään Lemminkäinen Infran kalliorakentamisen yksikölle.

1.1 Työn rajaus

Tutkimustyö rajattiin tunnelityömaan prosesseihin, joihin kuuluu louhinta- ja lujitustyöt. Työssä ei huomioitu rakennusteknisiä elementtejä, kuten louhintapalkkeja ja sisäverhousrakenteita.

Tutkimustyössä tutkittiin tunnelirakennustyömaan kustannusrakennetta ja pyrittiin havainnollistamaan esimerkkityömaan kautta työvaihekohtaiset kustannukset. Hanketehävissä keskityttiin havainnollistamaan kuukausitasolla syntyvät kustannukset.

1.2 Työn tavoite

Kalliorakentamisen toimihenkilöiden kesken on mietitty, kuinka saada tietoa vuorotyöjohtajille kustannustehokkaasta rakentamisesta. Keskeisenä ongelmana on, että kaikki eivät välttämättä hahmota, mitä kukin työvaihe maksaa ja mitä pitää saavuttaa, että saadaan työvaihe taloudellisesti kannattavaksi.

Tutkimustyön tavoitteena oli kuvata työnjohtajille tunnelilouhintatyömaan kustannusrakennetta. Louhinta- ja lujitustöiden ohella oli myös tavoitteena tuoda tietoa projektin muista kustannuksista.

2 Tilaajayritys

2.1 Toiminta

Lemminkäinen Oy on Helsingin pörssissä noteerattu rakennusalan toimija. Lemminkäinen on suomalainen rakennusalan palveluyritys, joka tarjoaa palveluitaan infra- ja talonrakennusalalla. Asiakkaina toimivat valtiot, kunnat, kaupungit sekä yksityiset. [1.]

Lemminkäinen toimii pääasiassa Pohjoisen-Euroopan rakennusmarkkinoilla, mutta toimintaa on myös jonkin verran pidemmälläkin. Yrityksen toiminta on jaettu kolmeen liiketoimintasegmenttiin, jotka ovat

- Infrarakentaminen
- Talonrakentaminen ja
- Venäjän toiminnot. [1.]

Lemminkäisen liikevaihto oli vuonna 2013 noin kaksi miljardia euroa. Henkilöstöluvumäärä oli noin 5 500. [1.]

2.2 Maanalainen rakentaminen

Maanalainen rakentamisen tuottaa palveluita, joihin kuuluu

- kalliotilojen louhinta
- erikoislouhinta
- city-louhinta
- pysäköintilaitokset
- luolat
- maanalaiset tilat
- kaivosurakointi
- perustusten vahvistaminen ja
- tuetut rakennuskaivannot. [2.]

3 Yleistä tunnelilouhinnasta

3.1 Tunnusteluporaus ja hydraulinen testaus

Tunnusteluporauksessa tutkitaan edessä olevan kiven laatu. Porausvaiheessa porari ja työnjohto tekevät havaintoja kiven rikkonaisuudesta ja kovuudesta. Tämän perusteella tehdään päätöksiä siitä, minkä pituinen katko porataan, ja osataan varautua mahdollisiin heikkoihin vyöhykkeisiin. Porattavat tunnustelureiät ovat yleensä mitaltaan 18–24 metriä.

Tunnusteluporauksen yhteydessä voidaan tehdä myös hydraulinen testaus. Yleisimmin käytetään vesimenekkimittausta.

Vesimenekkimittauksessa kallioon porattuun reikään mitataan määrätyllä paineella määrätyssä ajassa virtaavaa vesimäärä. Vesimenekkimittauksella tutkitaan ja arvioidaan kallion vuotovesien määrä, sekä kallion lujituksen tarpeellisuutta. Vesimenekkimittauksen tuloksien tulkinnassa on syytä huomioida, että tulokset pätevät vain rajatulle alueelle, joka koskettaa poratun reiän profiilia. [3, s. 161.]



Kuva 1: Mansetin pää

Porattuun tunnustelureikään asennetaan mansetti (kuva 2), joka toimii reiässä paineen kestäväenä tulppana (kuva 1). Mansetin läpi reikään pumpataan kovalla paineella vettä. Kun tavoitepaine on saavutettu, seurataan virtauksen määrää ja mahdollisia yhteyksiä muihin tunnustelureikiin. Jos vettä ei mene määrätyn aikarajan sisällä yli raja-arvon, todetaan, että injektoinnille ei ole tarvetta. Tapauksessa missä raja-arvo ylittyy, porataan suunnitelmien mukainen injektointikaavio ja perä injektoidaan.



Kuva 2: Mansetti kokonaisuudessaan

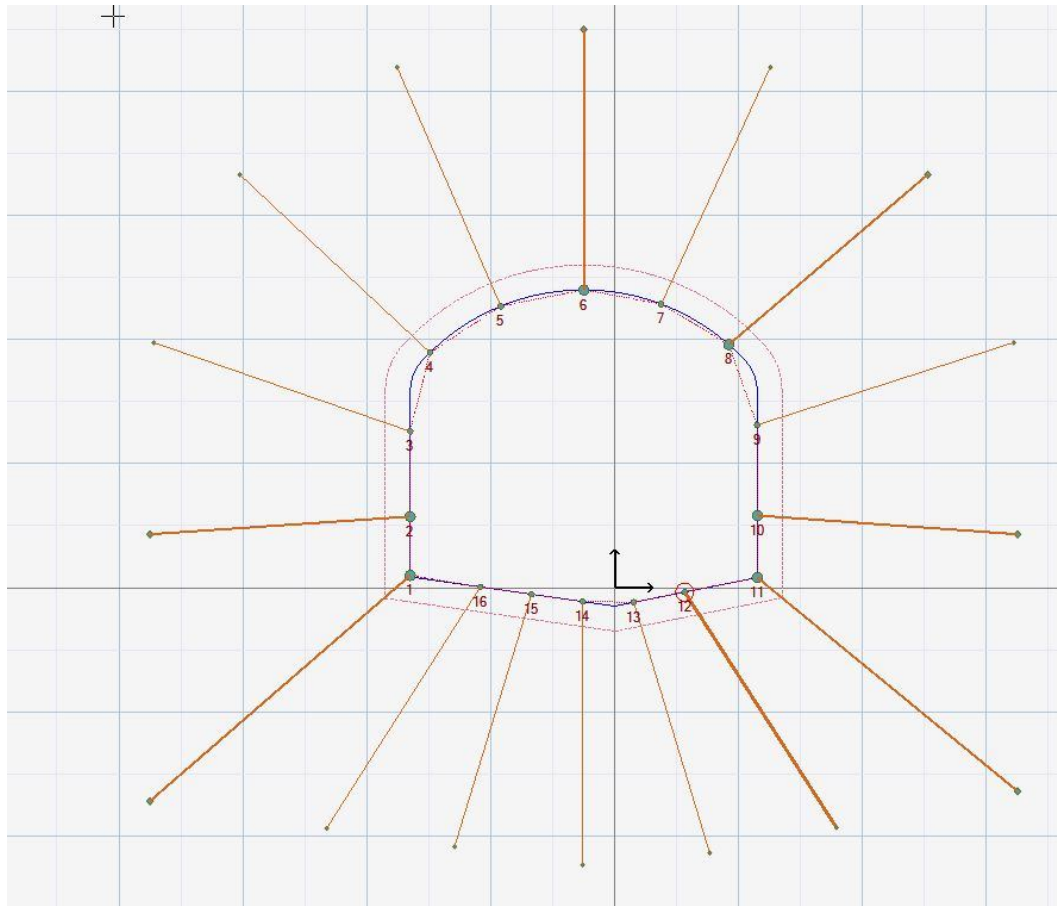
3.2 Injektointi

Injektointi on yksi kallion lujitustoimenpiteistä. Injektoinnilla tarkoitetaan sidosaineen pumppaamista kallion ruhjeisiin ja rakoihin. Injektoinnin tarkoitus on lujittaa kalliota ja tehdä siitä vesitiivis. [4, s. 43.]

Kallion tiivistystarvetta arvioidaan normaalisti vesimenekkimittauksella. Tiivistystarpeeseen muut vaikuttavat tekijät ovat

- pohjavesiolosuhteet
- maanpinnan vajoaminen, ym. kallion yläpuoliset tekijät
- tilan käyttötarkoitus, käyttökustannukset
- tiiveystavoite
- kalliossa oleva vesi
- veden johtavuus
- rakoilu, heikkous, vyöhykkeet ja kivilaji. [4, s. 48.]

Tunnelilouhinnassa kallioperää voidaan injektoida, joko ennakoon tai tehdä jälki-injektioita. Esi-injektioinnit ovat tyypillisimpiä. Jälki-injektioinnin tarpeita tarkastellaan jälkikäteen, jolloin pystytään hyvin määrittelemään injektioinnin koko ja sijainti.



Kuva 3: Injektionin porauskaavio

Esi-injektionista on työsuunnitelma, jonka perusteella määritellään porauskaavio (kuva 3) jokaiselle tunneliprofiilille. Lujitettavaan kallioon porataan injektointireikiä porauskaavion mukaisesti. Injektointireiän pituuden ja reiän halkaisijan määrittelee suunnittelija. Perusedellytyksenä on kuitenkin, että injektointia on oltava yhden louhintakatkon pituuden verran tunnelin päädyn edessä. [4, s. 48.]

Injektointikaaviota suunniteltaessa on huomioitava seuraavia asioita:

- Reikien päätepisteiden välisen etäisyyden on oltava pienempi kuin kolme metriä.
- Reikien on ulotuttava 2,5–4,5 metriä tunnelin teoreettisen profiilin ulkopuolelle tunnelin jännevälissä riippuen. [4, s. 48.]

Porauksen päätyttyä reiät huuhdellaan ja puhalletaan huolellisesti, jotta voidaan varmistua sidosaineen parhaasta mahdollisesta tunkeutumisesta kallioperään. Injektionin

tarkoituksena on pumpata kallioon nestemäistä sidosainetta, niin pitkään kunnes työmääräysten mukaiset tavoitepaineet ovat saavutettu. Tavoitepaine täytyy pysyä stabiilina määrätyn ajan. Sidosaineena voi toimia

- sementti
- bentoniitti
- vesilasi
- hartsi
- kalkkiliete
- polyuretaani
- bitumi. [4.]



Kuva 4: Kulun esi-injektointi käynnissä

Injektoinnin (kuva 4) aikana seurataan muita kaavion reikiä mahdollisten reikäyhteyksien takia. Myös pintavuotoja tarkkaillaan ja tilanteen vaatiessa niitä tukitaan. Tunnusteluporauksen perusteella voidaan varovaisesti arvioida mahdollista massamenekkiä, mutta injektointi tekee aikataulusuunnittelusta haasteellista, koska injektointiin menevää aikaa ei voida koskaan ennustaa tarkasti.



Kuva 5: Kuorma-auton päälle rakennettu injektointiyksikkö

Huonolaatuisessa kalliossa edetään suunnittelijan määräysten mukaisesti. Suunnittelijaan ollaan yhteydessä injektoinnin aikana ja tehdään ratkaisuja. Pitkän pumppauksen jälkeen voidaan esimerkiksi vaihtaa injektointimassan koostumusta hieman jäykemmäksi, jolla koetetaan hidastaa massan virtausta, että saavutettaisiin tavoitepaineet.

3.3 Poraus

Louhintatyö muodostuu porauksesta (kuva 6) ja panostuksesta. Onnistuneeseen louhintatyöhön päästään, jos panostustyön lisäksi poraus on onnistunut. Poraustyö pitää suunnitella ja toteuttaa oikein, että saavutetaan taloudellisesti ja teknisesti onnistunut lopputulos.

Tunneliporauksessa käytetään jumbo kallioporakoneita. Jumbo on tarkoitettu vaakaturunneleihin. Porakone on varustettu yhdestä viiteen puomia, jossa on hydraulinen iskurakone. Puomimäärän mukaan tehot lisääntyvät ja mahdollistavat isomman louhintapinta-alan. Tunnelit jaetaan OECD:n standardin mukaan seuraavasti: 2–10 neliömet-

riä, 10–30 neliometriä, 30–100 neliometriä ja >100 neliometriä. Porauskalusta valitaan louhittavan tunneliperän koon mukaan. [4, s. 118.]



Kuva 6: Katkon porausta jumbolla

Maan alla tapahtuvassa louhintatyössä on huomioitava ilmanlaatu. Jumboissa on dieselmootorit, millä ne ajetaan työpisteille. Varsinaista poraustyötä varten ne on varustettu sähkömootorein. Porauspöly sidotaan vedellä, jota kovalla paineella suihkutetaan reikään porakruunun päässä olevista rei'istä. Vesi sitoo pölyn ja samalla toimii porakaluston jäähdytysjärjestelmänä.

Tunnelissa varustelut ovat olennainen osa tehokasta ja turvallista työympäristöä. Jumbon perustarpeet ovat vesi ja sähkö. Vesi- ja sähkölinjoja vedetään perässä tunnelin edetessä ja tehdään kiinteitä pisteitä (kuva 7), joihin työkoneiden häntäkaapelit laiteetaan kiinni.



Kuva 7: Kiinteä sähköpiste

Jumbot ovat nykyaikana runsaasti varusteltuja. Työmaainsinööri tekee suunnitteluohjelmistolla porauskaavion, joka viedään jumbon tietokoneelle. Jumbo asemoidaan perään täkymetrinavigoinnilla tai tunnelinavigoinnilla. Navigoinnin ansiosta jumbo tietää missä päin tunnelia ollaan, josta tietokone laskee halutun poraussuunnan ja puomien kulmat. Asemoinnin perusteella kone myös tietää porata määrätyn mittaiset reiät, kun on asetettu haluttu katkon pituus.

Porauskaavio suunnitellaan, niin että kivelle annetaan räjäytysvaiheessa mahdollisuus purkautua haluttuun suuntaan. Tunnelissa tämä purkaus tapahtuu taaksepäin. Epäonnistuneen porauksen voi joissain tapauksissa vielä pelastaa onnistuneella panostuksella ja nallituksella, mutta edellytyksenä hyvään lopputulokseen on oikein suunniteltu ja porattu katko (kuva 8).

Kaavion keskelle porataan tiuha avausruudukko, jonka keskellä on niin sanotut avarusreiät. Avauksen sijainti ja onnistunut poraus määrittelee louhinnan lopputuloksen. Mitä alempana porauskaavion keskustaa avaus on, niin sitä pienempi heitto on kivellä, mutta vastaavasti lohkarrella on isompi raekoko. Jos avaus sijoitetaan keskustan yläpuolelle, niin lohkarrella on pienempi raekoko, mutta kivellä on suurempi heitto. [4, s. 241.]



Kuva 8: Porattu katko

Avarrusreiät (kuva 9) porataan ensin normaalilla katkokruunulla, jonka halkaisija vaihtelee 48–57 mm. Tämän jälkeen reikä avarretaan avarruskruunulla, jonka halkaisija vaihtelee 102–125 mm.



Kuva 9: Avauksen avarretut reiät

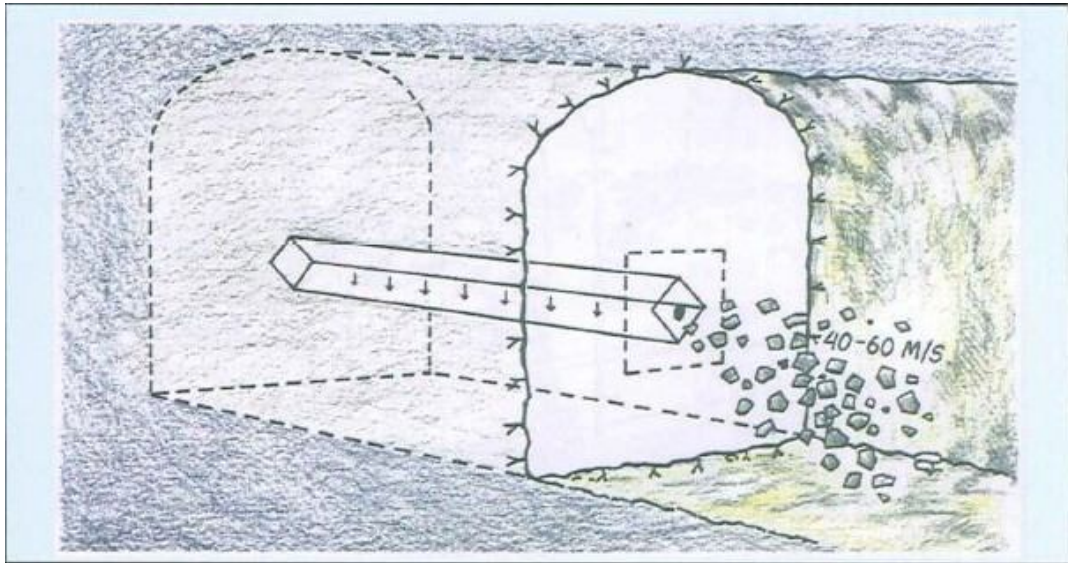
Keskustan ympärille porataan kaavion mukaisesti apulinjoja aivan kaarelle asti. Kaari-reiät porataan suunnitelmien mukaisen louhintatoleranssin perusteella. Tarkkuuslouhinta-alueilla, joissa on pienemmät louhintatoleranssit, porauskaavioon suunnitellaan tiheämmällä reikävälillä reunalinjat.

3.4 Panostus

Poraustyön jälkeen reiät panostetaan panostussuunnitelman (kuva 11) mukaisesti ja suoritetaan räjäytystyö. Avarruksesta ensimmäisten räjähtävien reikien tehtävänä on irrottaa kiveä, jotta syntyy uusia vapaita pintoja, joita kohti purkautuminen voi jatkua vaiheittain nallituksen ja pintahidasteiden määräämällä tavalla. [4, s. 241.]

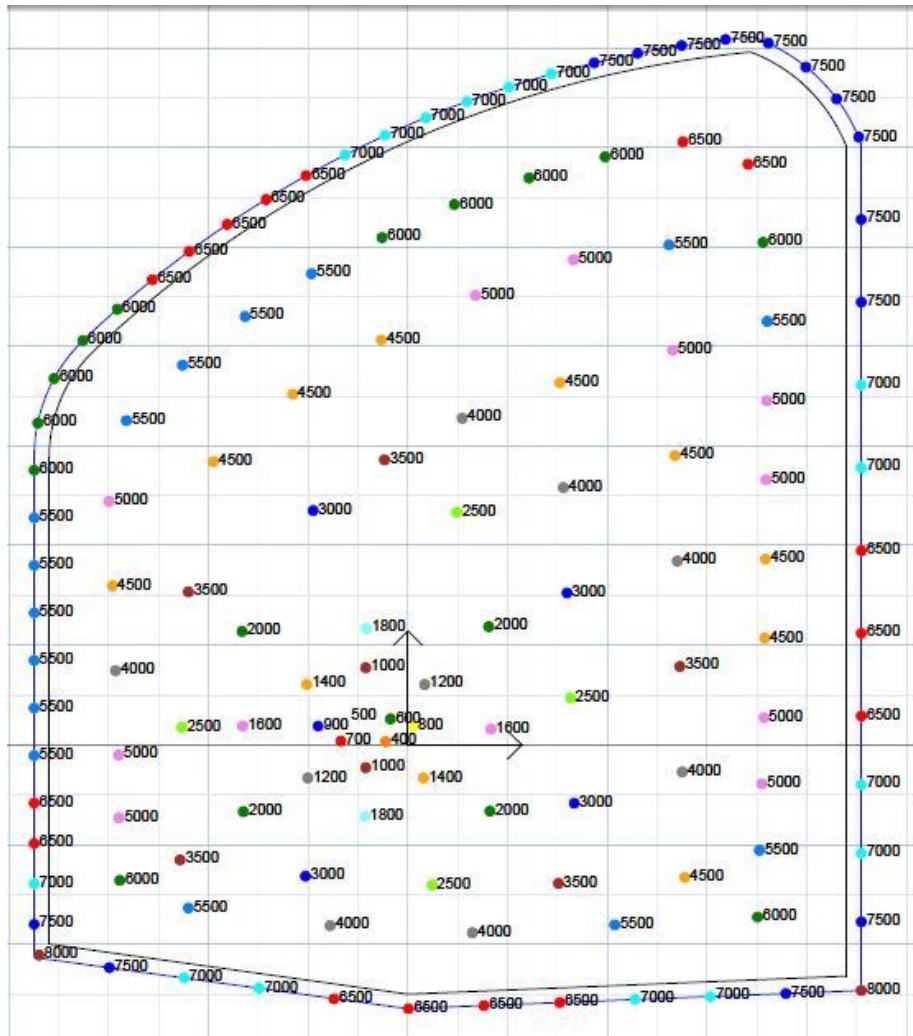
Sytytysjärjestys on suunniteltava niin, että jokaisella reiällä on vapaa purkautumissuunta. Aukaisureikien nallituksessa on huomioitava, että keskusta ehtii irrota sekä lentää ulos (kuva 10).

Kallion liikenopeus ulos reiästä on 40–60 m/s, jolloin avauksen nallitus tulisi olla edellä noin 100–150 m/s, jos louhittava katko on pituudeltaan kuusi metriä. Kahdessa ensimmäisessä neliössä jokaisella reiällä on oma hidasteaika. Kahdessa seuraavassa neliössä sytytetään kaksi reikää saman numeron nallilla. [5, s. 231.]



Kuva 10: Avauksen purkautuminen [5, s. 231.]

Katto- ja seinäreikien nallien tulee syttyä mahdollisimman samanaikaisesti. Kattorei'iltä seinärei'ille pudotetaan nallinumeroa, kun taas pohjaan kohti nostetaan. Viimeisenä lähtevät profiilin nurkkareiät. [5, s. 231.]



Kuva 11: Esimerkki nallituskaaviosta (millisekunteja)

Panostajan on myös huomioitava panostuksessa kallion geologisia ominaisuuksia, jotka porari informoi poraustyön päätyttyä:

- kallion laatu,
- lustat,
- halkeamat,
- ruhjeet,
- onkalot,
- kovuuden vaihtelut jne.

3.5 Lastaus

Räjätystyön jälkeen tunnelista on poistettava irrotettu kiviaines, ennen seuraavaa työvaihetta. Kiven lastaukseen käytetään yleensä joko pyöräkuormaajaa tai kaivinkonetta

(kuva 12). Lastauksessa pyritään saamaan tunneliperä niin puhtaaksi, että kaivinkoneella ei tarvitse enää muuta kuin rusnata katto ja seinät.

Lastauskoneen kuljettajan ja kiviainekuskin tehtävänä on huolehtia, että kuormat ovat turvallisia kuljettaa ja kuormapainot eivät mene yli sallitun painorajan.



Kuva 12: Pyöräkuormaajalla tapahtuva lastaus

3.6 Rusnaus

Räjätystyössä tunneliperän kattoon ja seinille jää irtonaisia lohkareita. Rusnauksessa pyritään putsamaan kallioinnat irtolohkareista, jotta saadaan turvallinen työympäristö.

Rusnaustyö suoritetaan siihen tehdyillä työkoneilla tai kaivinkoneella, joka on varustettu rusnaustyöhön kehitetyillä piikeillä. Ahtaissa paikoissa, kuten kuilut, on rusnaustyö tehtävä käsityönä käyttäen vettä ja rusnauskankia.

3.7 Pultitus

Pultitus on kallion lujittamisen yksi tapa. Pultin tarkoitus on sitoa rikkonaista kalliota. Kalliossa on erilaisia geologisia ominaisuuksia, kuten kiven laatu, lujuus ja rakoilu. Kallion lujuutta heikentävät myös heikkousvyöhykkeet ja vesiolosuhteet. Kallio voi silmä-määräisesti näyttää hyvältä louhintatyön jälkeen, mutta pitkällä aikavälillä kalliotilan ympärille muodostuvat jännitykset ja louhintatyöstä syntyneet tärinät voivat rikkoa kalliopintoja. Pultitus on yksi avaintekijä, että saadaan turvallinen työympäristö ja tila vielä vuosikymmeniksi eteenpäin. [4, s. 19.]

Pultit on jaettu kahteen erilaiseen ryhmään: aktiivisiin ja passiivisiin kalliopultteihin. Pultit ovat toimintatavoiltaan erilaisia. Aktiiviset pultit tukevat kalliota heti asennushetkestä lähtien ja passiiviset, vasta kun kallio on liikahdannut. Suunnittelija määrää passiivisten pulttien tyypit ja koot. Suunnitelma-asiakirjoissa on määrätty pulttien väli ja suunta. [4, s. 23.]

Aktiivisia pultteja käytetään turvapultituksessa. Jokaisen louhitun katkon jälkeen kalliopintaa tarkastellaan ja todetaan, onko turvapultitukselle tarve. Määrittely tehdään joko työnjohtajan toimesta tai suunnittelijan määräyksestä. Turvapultteja on monenlaisia, joista käytetyimpiä ovat PC- ja CT-pultti.

Jumbolla porataan ensin kallioon pultinreikä parhaaseen mahdolliseen suuntaan, jotta pultti tukisi irrallisia kalliopintoja. PC- ja CT-pultti kiristetään porattuun pultinreikään mutterinvääntimellä, jolloin pultin päässä oleva ankkuri kiilautuu pultinreiän reunoja vasten tehden tästä sitovan rakenteen kalliopintojen välille. Tällöin pultti alkaa heti tukeaa kalliota asennushetkestä lähtien. Lopuksi pultti kuitenkin juotetaan tavallisen pultin tapaan juotosmassalla tehden pultista entistä vahvemman ja korroosion kestävämmän.



Kuva 13: Avoleikkauksen harjateräspultitus

Harjateräspultti on tavanomainen passiivinen kallionlujitusmenetelmä (kuva 13). Harjateräspultti on suosituin passiivinen lujitustyyli, koska se on hyvin luotettava ja nopea asentaa. Turvapultin tapaan pultille porataan ensin jumbolla pultinreikä, joka porauksen jälkeen huolellisesti puhalletaan ja pestään paremman tartunnan takia. Pultinreikä täytetään juotosmassalla. Harjateräspulttiin asennetaan keskitysrenkaat, jonka jälkeen pultti työnnetään reikään. Pultin asennuksessa on huomioitava, että pultinreikä on täynnä juotosmassaa ennen pultin asennusta. Tällöin varmistetaan, että juotosmassa on kosketuksissa pultin kokonaispinta-alaan. Pultinreiän ja pultin puhtaus on myös oleellisia asioita, että saavutetaan tavoitettu vetolujuus.

3.8 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointi on tärkeä työvaihe rakennusteknisesti. Oikein suunniteltu ruiskubetonointi takaa turvallisen työympäristön, sekä hyvän lopputuloksen jatkorakentamiselle. Ruiskubetonilla pyritään muodostamaan tunnelin pintaan holvirakennetta, joka tukee kattorakennetta ja estää kallion liikehdinnän ja löyhtymisen aiheuttamia sortumia.

Ruiskubetonit jaetaan kahteen ryhmään: märkäruiskubetoni ja kuivaruiskubetoni.

Kuivamenetelmässä letkua pitkin paineilmalla kuljetetaan runkoaineen, sekä sementin seos. Suuttimen päässä vasta lisätään vesi. Säätimellä annostellaan veden suhde ruiskubetonissa (kuva 14). [4, s. 32–33.]



Kuva 14: Kuivaruisku

Märkäruiskutuksessa (kuva 15) valmis betoniseos pumpataan pumpulla paineilman avulla ruiskutettavaan kohteeseen. Ruiskutuksen yhteydessä pumppauslaitteistolla (kuva 16) lisätään betoniseokseen kiihdytinaine. [4, s. 33.]



Kuva 15: Märkäruiskutusta

Ruiskubetonointi on oleellinen osa työturvallisuutta. Jos perässä huomataan huonolaatuinen kivi, jonka oletetaan lisäävän riskejä louhinnassa, niin louhinta keskeytetään ja suoritetaan turvaruiskutus. Turvaruiskutus suoritetaan tavallisella märkäruiskubetonimassalla, jossa on normaalia enemmän kuituja. Turvaruiskutuksessa käytetään myös normaalia enemmän kiihdytinainetta, jotta saadaan paksumpia kerroksia ruiskutettua nopeammin. Näin saadaan seuraavat työvaiheet nopeammin käyntiin.



Kuva 16: Märkäruiskurobotti

Lopullisia ruiskutuksia tehdään vasta siinä vaiheessa, kun siihen on edellytykset. Alueelta tehdään itselle luovutus louhinnan osalta, joka pitää sisällään seuraavat asiat:

- räjähdäaineiden ja nallien poiston kalliopinnoilta
- vuotokohtien injektointiin
- pultauksen,
- pulttien juoton tai injektointiin
- pultinpäiden siistimisen
- jälkirusnauksen.

Suunnittelijan määräämien vahvuuksien ja laatujen mukaan kalliopinta ruiskutetaan. Määrättyjen ruiskutusvahvuuksien perusteella määritellään ruiskutettavat kerrospaksuudet. Ruiskukerrosvahvuus ei voi ylittää yli 50 millimetriä, koska ruiskutettavan betonimassan paino kasvaa liian suureksi tartuntapintaa kohden. Paksuissa ruiskubetonikerroksissa tapahtuu myös suhteessa enemmän kutistumaa ja kutistuma aiheuttaa ruiskubetonipinnan halkeilun.

Lopullisen ruiskutuksen alle jäävät ruiskubetonisaloajat. Ruiskubetonisalojilla tehdään kalliopinnan ja ruiskubetonikerrosten väliin tila, jota pitkin kalliosta vuotava vesi pääsee. Ruiskubetonisaloajat asennetaan suunnitelmien mukaisesti, ja asentaja lisää niitä tarvittaessa vuotokohtien kohdalle.

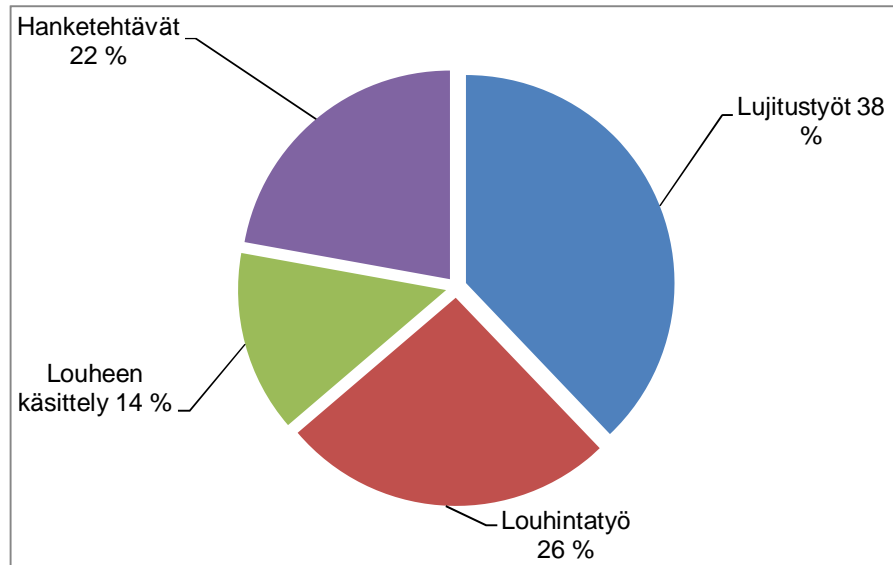
4 Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne

Tässä luvussa käsiteltävät asiat ovat työmaalta, jonka urakan kokonaissumma oli noin seitsemän miljoonaa euroa. Työmaalla oli louhittavaa noin 120 000 m³ktr, joka koostui peränajosta sekä levityslouhinnasta. Kokonaispultituksen määrä oli noin 7 500 kappaletta, sisältäen turvapultituksen ja systemaattisen pultituksen. Ruiskubetonin määrä oli noin 5 000 m³. Kuiluja tuli neljä kappaletta, joidenka mediaanikorkeus oli 15 metriä. Tutkimuksessa ei ole huomioitu rakennusteknisiä töitä, kuten maatotita, louhintapalkkeja tai mittapatoja.

Luvut perustuvat todellisiin laskelmiin, joita on käytetty urakan tarjousvaiheessa. Yksikköhinnat ja työsuoritusten kustannukset ovat tältä samalta työmaalta. Nämä kustannukset vaihtelevat projektikohtaisesti eri hankkeilla. Työvaihekohtaisissa yksikköhinnoissa ei huomioida työnjohdon osuutta, koska ne sisällytetään hankekustannuksiin. Työvaihekohtaisissa laskelmissa ei ole myös huomioitu yleisiä käyttökustannuksia, kuten vettä ja sähköä. Ne käsitellään myös hankekustannuksissa.

Tutkimuksessa hanke pilkottiin seuraavan laisiin osiin, joista kustannusrakennetta on selkeä tarkastella:

- lujitustyöt 38 %,
- hanketehtävät 22 %,
- louheen käsittely 14 % ja
- louhinnat 26 %.

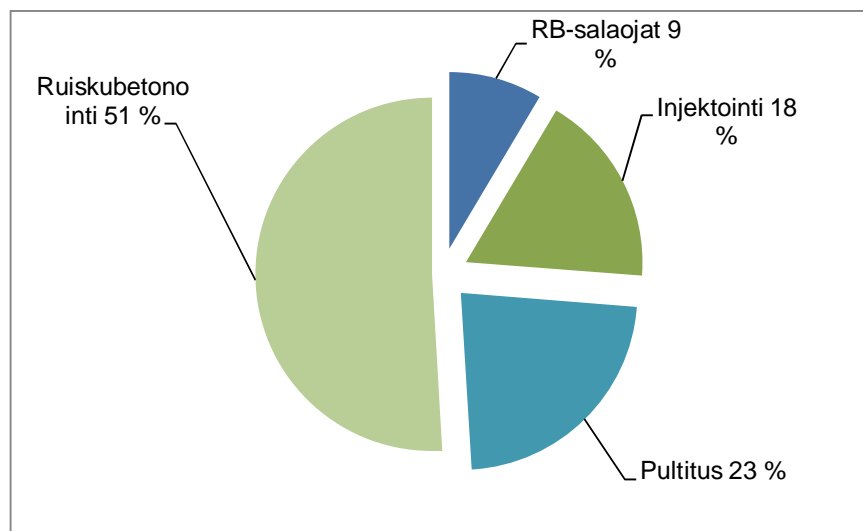


Kuva 17: Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne

Ympyrädiagrammista (kuva 17) nähdään, kuinka pieni osa varsinainen louhintatyö on tunnelilouhintatyömaan kokonaiskustannuksista. Vastaavasti hanketehtävien ja lujitustyöiden osuus on yli puolet hankkeen kokonaiskustannuksista.

4.1 Lujitustyöt

Lujitustyöt muodostuvat ruiskubetonoinnista, injektoinnista, pulittauksesta ja ruiskubetonisalojista (kuva 18).



Kuva 18: Lujitustyöiden kustannusjako

Näissä kaikissa työvaiheissa materiaalin osuus on suurempi verrattuna työn osuuteen. Materiaalihankinnat, materiaalin käyttö ja säilytys ovat tärkeitä tekijöitä työvaiheen taloudellisen kannattavuuden takaamiseksi.

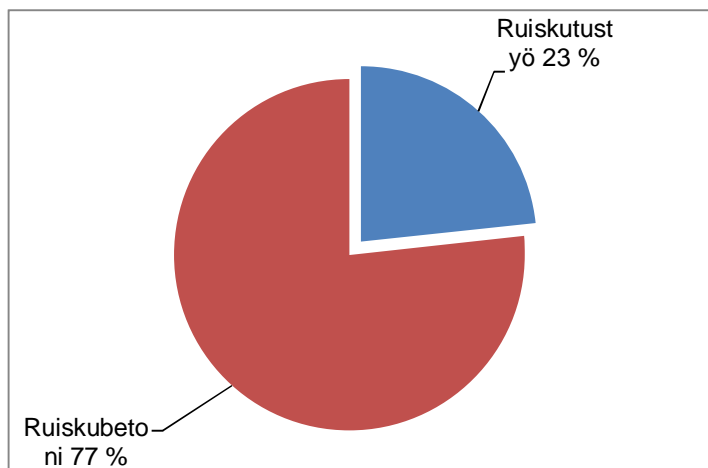
4.1.1 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointi on hankkeen kallein työvaihe, jonka oikea johtaminen on avainasemassa kustannustehokkaassa tunnelirakentamisessa. Työvaihe pitää sisällään kolme osapuolta: työnjohtaja, työntekijät ja materiaalityöntekijän. Kaikkien näiden yhteistyö on tärkeää saavuttaessa haluttu lopputulos.

Ruiskubetonoinnissa työn suunnittelu on tärkeä osa kokonaisuutta, koska materiaali on kallista ja menekit ovat suuria (kuva 19). Työn suunnittelussa huomioidaan massan laatu, tarvittavat lisäaineet, ruiskutusalueen valmistelut, työn organisointi ja materiaalin tilaaminen oikeaan aikaan. On osattava suunnitella massamenekki päivää kohden, että pystytään tilaamaan asemalta oikea määrä autoja.

Lähtökohtana pyritään ruiskuttamaan ruiskutusalueen kerrosvahvuus aina kerralla loppuun, että seuraavalla ruiskutuskerralla päästään ruiskuttamaan uutta kerrosta ja näin pidetään työn edistyminen tehokkaana. Tällä vältetään laitteen siirroilta ja ylimääräisiltä pesuilta, jotka kasvattavat työn osuutta ruiskutettavaa betonikuutiota kohden.

Ruiskubetonoinnissa materiaalin osuus on huomattava. Tästä johtuen on tärkeitä seurata ruiskutettavan betonin määrää työn etenemällä ja tekemällä vahvuusmittauksia ruiskutuskerrosten välillä. Ruiskubetonointiin lasketaan tarjousvaiheessa mukaan laskennallinen hukkaprosentti. Oikeilla olosuhteilla ja työsuorituksella hukkaprosenttia voidaan pienentää, joka vaikuttaa suoraan työvaiheen taloudelliseen onnistumiseen.



Kuva 19: Ruiskubetonoinnin kustannusjako

Ruiskubetonointityöryhmä muodostuu ruiskuttajasta ja apumiehestä. Työnjohdon kustannukset sisällytetään hankekustannuksiin, joita ei sisällytetä työvaihekustannuksiin.

Taulukossa 1 esitetty laskelma perustuu tapaukseen, missä ruiskurobotti asemoidaan ja ruiskutettava kalliopinta pestään. Ruiskutuspaikalla ruiskutetaan ainoastaan yksi kuuden kuution kuorma, jonka jälkeen ruiskurobotti pestään ja ajetaan pois työpisteeltä. Ruiskubetonimassassa käytetään teräskuituja 45 kg/m^3 . Ruiskutetun kuution työosuuden hinta laskee sen mukaan, mitä enemmän ruiskutetaan kuutioita samalta paikalta. Ruiskubetoniauton kustannuksiin on huomioitu kuljetus ja neljänkymmenen minuutin purkuaika ruiskurobotilla.

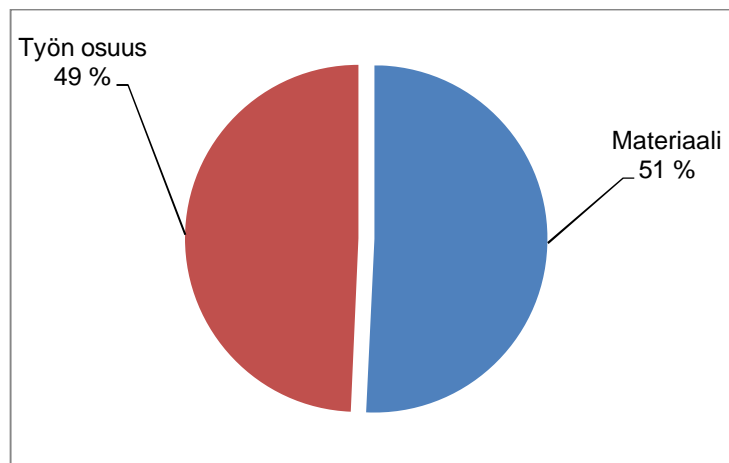
Taulukko 1. Ruiskubetonikuorman kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
työryhmä	€/h	3	76	228
ruiskubetoni	m^3	6	75	450
kiihdytinaine	€/ltr	116	0,85	98,6
ruiskurobotti	€/vrk	0,125	350	43,75
betoniauto	kuorma	1	60	60
teräskuitu	€/kg	45	1,45	65,25

Ruiskutetun kuuden kuution kuorman kokonaiskustannukseksi tulee 945,6 €

4.1.2 Ruiskubetonisalaajat

Ruiskubetonisalaajituksessa kustannukset muodostuvat työstä ja materiaalista. Materiaalin ja työn osuudet ovat likimain yhtä suuria (kuva 20).



Kuva 20: Ruiskubetonisalaajan kustannusjako

Salaojitusyöhön kuuluu itse asennustyö, tarvikkeet, työkalut ja henkilönostimet. Salaojitus on usein myyty alihankkijalle, joka tekee asennustyön metrihintaan. Työn valvonta on työnjohtajalle kustannuksellisesta näkökannasta helppoa ja vaivatonta, kunhan pitää erillään urakan ulkopuolella olevat tuntityöt.

Työnjohtajan tulee kuitenkin valmistella asennusporukalle tarpeeksi työalueita, jotta asennusryhmä pystyy tekemään urakan alaisia töitä. Tällä minimoidaan tuntitöiden muodostumista.

Asennettavan salaojan metrihinta pitää sisällään myös materiaalin, jonka tilaamisesta alihankkija pitää huolen. Ylimääräistä materiaalimenekkiä pidetään kurissa oikealla varastoinnilla. Asennetut salaojat ruiskutetaan suojaan ja hännät suojataan sepelillä. Oikealla työn ajoituksella vältetään rikkoutuneiden salaojien materiaalihävikkiä, sekä lisääntyviä tuntitöitä.

Taulukossa 2 on laskettu yhden kahdeksan tunnin työvuoron saavutus ja kustannukset.

Taulukko 2. Ruiskubetonisalaajan kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
Rakennusmies	€/m	100	10	1000
Salaoja	€/m	100	10	1000
Henkilönostin	€/vrk	0,5	120	60

Yhden työvuoron kokonaiskustannukseksi tulee 2 060 €.

4.1.3 Injektointi

Injektoinnin kustannukset (kuva 21) ovat laskentavaiheessa arvioita perustuen kallioperätutkimuksiin. Lopulliset injektointikustannukset pystytään vasta laskemaan työsuorituksen jälkeen, koska injektointimassan menekkiä on mahdoton tietää varmaksi. Tässä kappaleessa esitetty kustannusrakenne perustuu siihen, että injektointiporametrejä on 21 000 metriä, injektointimassaan käytetty sementtimäärä on 315 000 kiloa ja kemialliseen injektointiin käytetty injektointiuretaanin määrä 5 000kg.

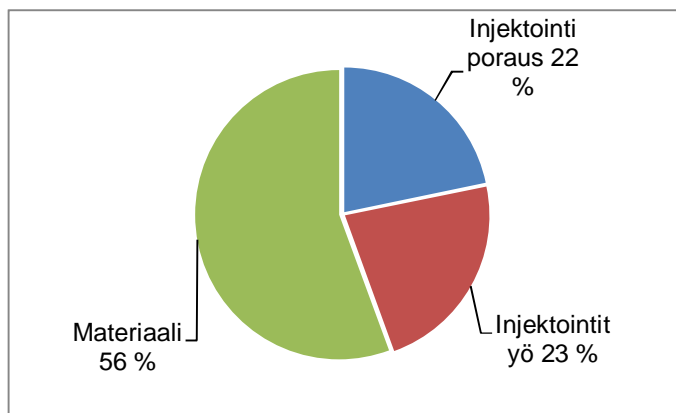
Työkustannukset muodostuvat injektointiporauksesta ja injektoinnista.

Injektointiporaus sisältää porarin ja porauskaluston. Porauskaluston kustannuksiin on sisällytetty huoltokustannukset, sekä poratarvikkeet esim. porakanget ja kruunut.

Injektointityöhön lasketaan injektointikalusto, sekä työryhmä, johon sisältyy kaksi rakennusmiestä.

Materiaalikustannukset sisältävät

- injektointisementin
- notkistinaineen
- injektointiuretaani,
- injektointiuretaanin kiihdytinaineen
- mansetit.



Kuva 21: Injektoinnin kustannusjako

Työnjohtaja tekee laatedokumentit injektointityöstä ja pitää huolen, että työ tehdään suunnitelmien mukaan. Oikein ajoitettu ja tehty injektointi vähentää jälki-injektointien määrää, joka on kallista ja paljon aikaa vievää. Jälki-injektoitavia alueita ei voida luovuttaa jatkorakentajan käyttöön, ennen kuin vuotovedet ovat saatu kuriin. Kustannustehokkain menetelmä on tehdä kuivia tunnelimetrejä. Injektoinnissa poraus on ainoa työvaihe, minkä voi odottaa pysyvän vakiona. Työn etenemän kannalta kaikista edullisinta on, että injektointimassamenekit pysyvät mahdollisimman pieninä, jotta saadaan varsinaista louhintatyötä käyntiin.

Taulukossa 3 on esitetty laskelma injektoinnista, jonka injektointikaaviossa oli 15 reikää pituuksiltaan 24 metriä.

Taulukko 3. Injektoinnin kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
Porari	€/h	5,5	38	209
Injektointiryhmä	€/h	10	76	760
Jumbo	€/vrk	0,23	959	220,6
Injektointialusta	€/vrk	0,42	406	170,5
Sementti	€/kg	924,8	0,43	397,7
Notkistinaine	€/l	20,7	2,18	45,1
Mansetti	€/kpl	15	35	525
Kurottaja	€/vrk	0,42	150	63

Injektoinnin kokonaiskustannukseksi tuli 2 390,9 €

4.1.4 Pultitus

Pultitus on lujitustöiden toiseksi suurin työvaihe, jonka kustannukset muodostuvat materiaalista ja työstä (kuva 22).

Pultitusmäärät ovat hyvin laskettavissa urakan tarjousvaiheessa, koska suunnittelija on määrännyt lujitusluokat kallioprofiileille. Pulttausmääriä voi lisätä yllättävä kallion laadun heikkeneminen. Suunnittelija määrää tarpeen mukaan kovemman lujitusluokan heikommalle tunnelin osuudelle. Louhintatyön edetessä työnjohtajan tehtävä on huomioida riskialueet ja määrätä välittömästi asennettavaksi turvapultteja.

Tässä kappaleessa esitetty kustannusrakenne perustuu siihen, että pultinporausmetrejä on 33 000 metriä ja pultteja yhteensä 7 000 kappaletta. Pultin pituudet ovat väliltä 2 000–7 000 mm.

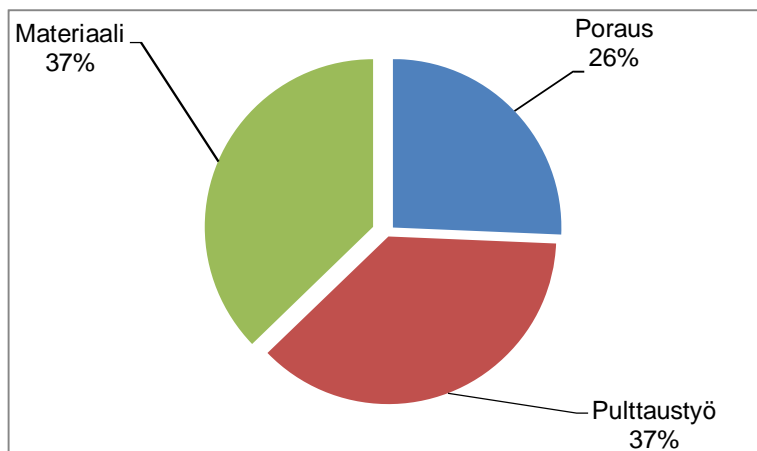
Työkustannukset muodostuvat pultinporauksesta ja pultitustyöstä.

Pultinporaus sisältää porarin ja porauskaluston. Porauskaluston kustannuksiin on sisällytetty huoltokustannukset, sekä poratarvikkeet esim. porakanget ja kruunut.

Pultitustyöhön lasketaan henkilönostin, pulttausalusta, sekä työryhmä, johon sisältyy kolme rakennusmiestä.

Materiaalikustannukset sisältävät

- juotoslaastin
- pultin keskitinkappaleet
- pultit.



Kuva 22: Pulttauksen kustannusjako

Pultitus pidetään perän etenemän kanssa tasalla, jotta työturvallisuus säilyy, ja tehdään edellytykset seuraaville työvaiheille. On tärkeää myös juottaa tai injektoida pultit mahdollisimman nopeasti. Väliin jääneet tukkoreiät porataan auki ja pultataan. Räjähdyksissä hajonneet pultit korjataan. Näin pidetään huoli, että saadaan ruiskubetonointi pidettyä louhinnan mukana ja jatkorakentajalle vapautuu uusia työalueita.

Taulukossa 4 on esitetty laskelma kahdentoista tunnin työvuorosta, jonka saavutuksena on kolmesataa kappaletta juotettuja harjateräspultteja.

Taulukko 4. Pultituksen kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
Porari	€/h	10	38	380
Pulttausryhmä	€/h	12	114	1368
Jumbo	€/vrk	0,42	959	399,6
Henkilönostin	€/vrk	0,5	84	42
Juotoslaasti	€/jm	900	0,5	450
Keskitinkappale	€/kpl	900	0,15	135
Pultti	€/kpl	300	11,7	3510

Pultituksen kokonaiskustannukseksi tuli 6 284,6 €.

4.2 Louhintatyö

Tunnelirakentamisessa yhtä räjäytettävää tunnelin osuutta kutsutaan katkoksi. Katko käsittää koko louhintaprosessin. Tässä luvussa louhintatyön kustannusrakennetta tarkastellaan louhitun katkon kautta. Katkolla on pituutta kuusi metriä ja profiilin teoreettinen pinta-ala on 65,6 neliömetriä. Porauskaaviossa on 136 porareikää ja porametrejä yhteensä 868,17 metriä.

4.2.1 Poraus

Porauksen kustannukset ovat hyvin ennustettavia, jos kivilaatu on tiedossa ja tasaista. Poraus on sitä hitaampaa ja kalliimpaa, mitä heikompaa kallio on. Porauksessa käytetty jumbo on mekaaninen laite, jotenka mahdollisia konerikkoja voi tapahtua. Jokainen konerikko pidentää porausaikaa ja näin ollen kustannuksia.

Porausvaiheen työkustannukset muodostuvat porauskalustosta, porarista ja huoltomiehestä. Porauskaluston kustannuksiin on sisällytetty huoltokustannukset, sekä poratarvikkeet esim. porakanget ja kruunut.

Jumbo on tärkein työkonelouhintaprosessissa, ja sitä pyritään pyörittämään koko sallitun porausajan. Näin ollen jumbon teknisen toiminnan varmistamiseksi työvuorossa on huoltomies, joka pitää huolen, että työkonelouhintaprosessi toimii ja korjaa sitä porauksen aikana tarpeen vaatiessa.

Taulukossa 5 on esitetty poratun katkon kustannukset. Taulukosta nähdään, kuinka iso osa porauksen kokonaiskustannusta on porateräs. Porateräksen kestävyyttä seurataan tarkkaan ja poikkeuksellisen useisiin kangen tai kruunun rikkoutumisiin puututaan heti.

Taulukko 5. Porauksen kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
Porari	€/h	4	38	152
Huoltomies	€/h	4	38	152
Jumbo	€/vrk	0,25	959	239,8
Porateräs	€/pm	868,2	0,25	217,1

Poratun katkon kokonaiskustannukseksi tuli 760,9 €.

4.2.2 Panostus

Panostuksessa kustannukset muodostuvat työsuoritteesta ja materiaalikustannuksista. Työsuoritteen kesto on porauksen tavoin riippuvainen kallion laadusta. Heikossa kalli-ossa reiät voivat rikkoutua ja sortua umpeen, joten mahdolliset reiän avaukset vievät aikaa.

Panostustyö pitää sisällään kaksi panostajaa ja panostusalustan. Materiaalikustannukset pitävät sisällään räjähdysaineet, nallit, räjähdys- ja sytytystarvikkeet.

Esimerkkikatossa laskennalliset panostusmäärät ovat esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Katkon räjähdysaineen kulutus

Räjähdysaine	Panosten pituus yhteensä (m)	Räjähdysainetta yhteensä (kg)
Kemix A 39	11,0	14,2
Kemix A 32	82,0	73,8
Kemix A 25	72,0	39,6
Emulsio pohja	36,5	98,55
Emulsio 1200g	310,0	372,0
Emulsio 1600g	51,7	82,7
F-putki	165,0	34,65
Yhteensä	728,2	715,5

Taulukossa 7 on esitetty panostuksen kustannukset.

Taulukko 7. Panostuksen kustannukset

Laji	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta (€)	Hinta (€)
Panostusryhmä	€/h	3	76	228
Panostusalusta	€/vrk	0,2	196	36,8
Kemix A	€/kg	127,6	2,3	293,5
Emulsio	€/kg	553,2	1,0	553,2
F-putki	€/kg	34,7	5,4	187,1
Nalli	€/kpl	133	2,85	379,1

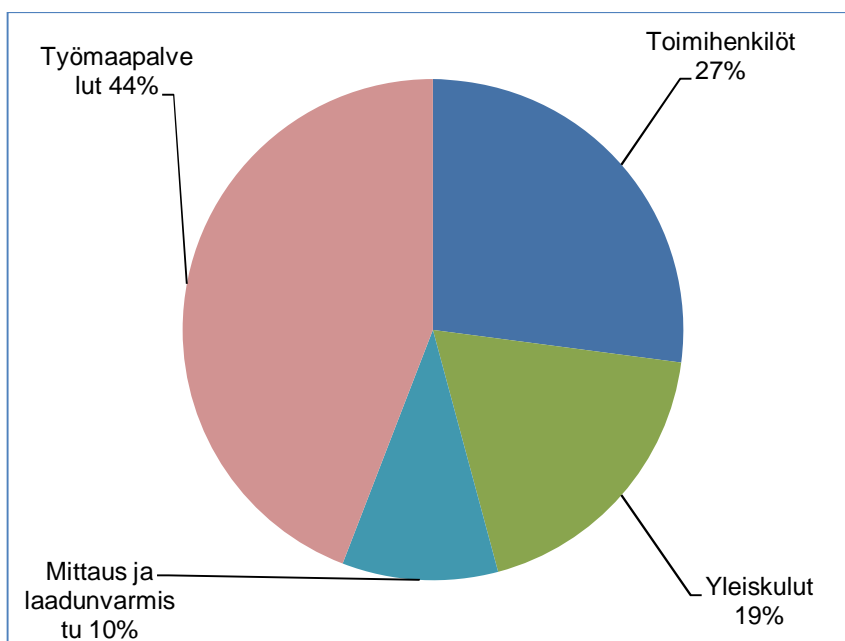
Tarvikkeet	€/m ³	451,8	0,5	225,9
------------	------------------	-------	-----	-------

Panostuksen kokonaiskustannukseksi tuli 1 903,6 €.

4.3 Hanketehtävät

Tunnelityömaan kustannusrakenteeseen kuuluu isona osana käyttö- ja yhteiskustannukset. Hanketehtävien kustannuksia tarkastellaan kuukausitasolla, joka on esitelty liitteessä 1. Liitteen 1 kustannuksiin on myös kuukausittaisten kustannusten ohella huomioitu työmaan kertaluontoiset kustannukset. Kertaluontoiset kustannukset ovat vain jaettu kuukausitasolle.

Hankekustannusten jakautuminen on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23: Hanketehtävien kustannusten jako

4.3.1 Toimihenkilöstö

Projektissa esimerkkityömaan toimihenkilöstörakenne oli seuraava: työmaapäällikkö, työmaainsinööri, CDBM-insinööri ja kolme työnjohtajaa.

Työmaapäällikkö vastaa hankkeen kokonaisuudesta, jonka alaisuudessa toimivat insinöörit ja työnjohtajat.

CDBM-insinöörin tehtävänä on suunnitella ja toteuttaa porauskaaviot dataporalaitteille ja panostuskaaviot panostusyksikköä varten. CDBM-insinööri myös seuraa työmaalla toteumaa ja tekee aikatauluseurantaa.

Työmaainsinööri on työmaan niin sanottu talousjohtaja. Työmaainsinöörin tehtäviin kuuluu hoitaa rahaliikennettä, päivittää työmaatilannetta CDBM-insinöörin kanssa ja hoitaa sopimusasiat. Työmaainsinööri vastaa myös työnjohtajien tekemien laadudokumenttien kansioinnista ja pitää huolen, että ne ovat asianmukaiset.

Työnjohtajan tehtäviin kuuluu suunnitella työvuoron tehtävät muiden toimihenkilöiden kanssa ja valvoa, että työ suoritetaan laadukkaasti ja turvallisesti. Työnjohtaja pitää huolen, että työmaa pysyy koko ajan käynnissä ja että vältetään työntekijöiden, sekä työkoneiden joutokäyntiä. Tehtäviin kuuluu laadudokumenttien tekeminen eri työvaiheista, kuten injektointi, vesimenekikokeet, pultitus jne.

4.3.2 Yleiskulut

Jokaisella rakennustyömaalla täytyy olla lain vaadittavat vakuutukset rakennustoiminnan edellyttämiseksi. Työmaan aikaisiin laskettaviin vakuutuksiin kuuluvat rakennuskohteen vakuuttaminen, mikä pitää sisällään louhintavastuuvakuutukset ja työnaikaisen vakuuden. Rakennustyömaan loputtua astuu voimaan takuuajan vakuutus.

Tunnelilouhintatyömaat sijaitsevat usein työntekijöiden asuinpaikkakunnan ulkopuolella. Tunnelityömaailta on myös usein vaikea kulku lähelle lounas- tai kahvipaikoille. Näin ollen työntekijöille tarjotaan palveluita, joihin kuuluu sosiaalityökalujen varustelu, keittiövarustelu ja asunnon järjestäminen työmaan läheisyydestä. Työntekijöille annetaan myös työvaatteet ja turvallisuusvarusteet.

Rakennustyömaalla toimii jätehuolto. Sosiaalityökaluissa ja työmaatoimistossa käy säännöllisin väliajoin siivoajat. Työntekijöiden asunnot myös siivotaan alihankkijan kautta.

Työmaalla on vartiointipalvelu tarvittaessa ympäri vuorokauden. Sosiaalituloissa ja työmaatoimistossa on hälytinjaestelmä. Koko työmaa on aidattu verkkoaidalla ja portit ovat työajan ulkopuolella lukittuna.

4.3.3 Työmaamittaukset ja laadunvarmistus

Mittaustyöjohtaja suorittaa kaikki rakennus- ja tarkemittaukset työmaalla. Hän huolehtii, että tunneli menee oikeaan suuntaan ja jatkuvasti skannaa tunnelipintoja. Skannauksella tutkitaan saavutettua laatua. Mittamiehellä on takymetri, skannerikeilain, työauto, mittaustarvikkeita ja mittausohjelmat.

Valvontamittauksissa käytetään värinäkonsulttia, joka seuraa työmaan läheisyydessä sijaitsevien rakennusten tai rakennelmien värinöitä. Tällä pois suljetaan mahdolliset vauriot, jotka louhintatyö voi aiheuttaa.

Tunnelista analysoidaan vesinäytteitä pois pumpattavasta vedestä ja ilman laatua seurataan radonmittauksilla, sekä häkämittauksilla.

Melumittauksia suoritetaan työmaan läheisyydessä, koska kiven murskaustyö ja kivenajo ovat äänekkäitä työvaiheita. Myös lähellä maanpintaa tapahtuvien räjäytysten melutasoa mitataan.

Laadunvalvontaa tehdään betonista, ruiskubetonista, injektoinnista ja pulttauksesta. Betonista, ruiskubetonista ja pulttien juotoslaastista tehdään koekappaleita, jotka muretaan laboratorioissa ja selvitetään kappaleen puristuslujuus. Pulteista tehdään vetokokeita, jotta voidaan osoittaa pultin toimivuus kalliossa. Injektointimassasta tehdään jokaisella injektoinnilla laadunvarmistus, joka pitää sisällään vedenerottavuuskokeen, pumppukokeen ja sitoutumisaikakokeen.

4.3.4 Työmaapalvelut

Rakennustyömaan alussa perustetaan työmaatoimisto, joka pitää sisällään toimistotilat ja sosiaalilat. Parakkien pohjien teko, vesi- ja sähköliittyminen rakentaminen ja avaaminen tekevät kertaluontoisen kustannuksen työmaapalveluihin. Vastaavasti hankkeen

päätyttyä työmaatoimisto pitää purkaa. Jos tilat ovat vuokralla, niistä menee kuukausittainen vuokra.

Gsm- ja internetyhteydet tarvitaan työmaatoimistoilla, sekä tunnelissa. Tunnelissa eivät puhelimet kuulu, joten tarvitaan erillinen jälkiasennettu verkko tunneliin, jotta saadaan toimivat puhelinyhteydet.

Tunneliin täytyy rakentaa toimiva ilmanvaihto tuulettamaan tiloja. Työkoneista ja räjäytyksistä syntyy paljon kaasuja ja savuja, jotka pitää saada ulos tunnelista. Tuuletus tapahtuu isolla tuuletinmoottorilla, josta johdetaan tuuletusputkisto tunneliin perää kohti. Puhdas korvausilma työntää saastunutta ilmaa edellään ulos.

Työmaalla tarvitaan lämmitettävä huoltohalli työkoneiden huoltoa ja korjausta varten. Huoltohalli on varustettu lämmityslaitteella, sekä huoltokontilla, jossa on kaikki tarvittavat työkalut koneiden huoltoa varten. Räjähdysaineille ja nalleille on omat kontit. Jos panostetaan emulsiolla, niin emulsiolle ja kaasuliuokselle on omat varastokontit.

Työmaapalveluihin sisällytetään myös työkoneissa ja lämmitinlaitteissa käytettävä moottoripolttoöljy sekä työautojen ja kuorma-autojen dieselpolttoaine.

Vesi on sähkön ohella toinen tärkeä elementti tunnelityöskentelyssä. Porauksessa reikien huuhteluun, sekä kruunujen jäähdyttämistä varten käytetään vettä. Tunneliin rakennetaan kattava vesijohtoverkosto, jotta vesi on saatavilla jokaisella työskentelyalueella tunnelissa.

Poravesi ohjataan tunnelista ulos uppopumpuilla. Uppopumpuilla vesi pumpataan usean saostusaltaan kautta, jotta saadaan eroteltua vedestä hieno kiviaines ja ympäristölle haitalliset kemikaalit. Saostusaltat käydään tyhjentämässä säännöllisin väliajoin tyhjäksi pumppuautoilla ja jäteaine viedään asianmukaisin menetelmin hävitettäväksi. Jäljelle jäänyt suodatettu vesi johdetaan kunnalliseen jätehuoltoverkkoon. Jäljelle jäänyttä vettä seurataan ja siitä otetaan vesinäytteitä. Vesinäytteitä tutkitaan, jotta vältetään liikaisen veden pumppaamista ulos työmaalta.

Tunneliin rakennetaan veden tapaan kattava sähköverkko, koska melkein kaikki työkooneet toimivat sähköllä. Jokaiseen tunnelihaaraan tehdään 1000 voltin sähköjärjestelmä

ja noin sadan metrin välein jakokeskuksia. Sähkö- ja vesikustannukset ovat työmaapalveluiden kalleimmat tekijät.

Työkoneiden siirrossa työmaalta toiselle tarvitaan lavettikuljetuksia ja työmaalla jokaisella työryhmällä on oltava käytössä huoltoauto. Työnjohdolla on myös oma auto.

5 Pohdinta

Projektin edetessä tekijä kyseli kollegoilta, mitä he arvelevat louhintatyön osuudeksi tunnelirakennustyömaalla. Kaikilla veikkaukset osuivat välille 50–65 prosenttiyksikköä. Tutkimustyössä selvisi, että louhintatyön osuus koko projektista jää noin neljännekseen. Louhintatyö on toki työvaiheena erittäin kriittinen, mutta projektin tuo 50–65 prosenttiyksikköä menee lujitustöihin ja hanketehtäviin.

Kuten tutkimus osoitti, lujitustyöt ovat tunnelirakennustyömaan isoin osa kustannusrakenteellisesta näkökulmasta. On todella tärkeätä keskittää enemmän huomiota lujitustöihin etenkin työturvallisuuden ja kustannuksellisesta näkökulmasta. Ruiskutuksessa etenkin työnjohtajan työpanos on erittäin tärkeä. Jo muutama väärin ruiskutettu ruiskubetonikuorma maksaa työnjohtajan kuukausipalkan verran.

Oikein toteutettu työmaalogistiikka tuo myös kustannustehokkuutta lujitukseen. Tunnelissa työskennellään märissä olosuhteissa ja pohjat ovat pääosin liejun peittämiä. On tärkeätä varastoida kaikki materiaali kuiviin olosuhteisiin. Pultit täytyy pitää puhtaina ja sementit kuivina. Näistä materiaalitappioista syntyy huomaamattomasti isoja kustannuksia pitkällä aikavälillä ja varsinkin isolla työmaalla, missä materiaalmäärät ovat suuria.

Yleisesti louhintatyönjohtajat eivät käytä samalla tavalla aikaansa ja työpanostaan lujitustöihin, vaan keskittyvät itse louhintaprosessiin ja saavutettuihin metrimääriin. Metrimäärät ovat tärkeitä, mutta ne eivät edes auta projektia, jos louhitut metrit eivät ole niin sanottuja kuivia metrejä. Lujitukseen on tärkeätä panostaa oikealla hetkellä.

Hanketehtävien osuus yllätti tutkijan ja muut toimihenkilöt. Nämä mielletään sokeiksi kustannuksiksi, joita työnjohtajat eivät huomioi työmaalla. Hanketehtävien kustannuksiin pystytään vaikuttamaan projektin aikataulutuksella. Hanketehtävistä suurin osa on aikasidonnaisia kustannuksia, joiden suhde pienenee kokonaiskustannuksista, mitä nopeammin projekti saadaan päätökseen. Ylitöitä on taloudellisesti kannattavaa teettää, jos se on tehokasta ja se vaikuttaa seuraavan viikon tulokseen.

6 Yhteenveto

Tutkimustyössä esimerkkinä käytetyn tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne oli seuraavanlainen:

louhintatyö 26 %,
 lujitustyö 38 %,
 hanketehtävät 22 % ja
 louheen käsittely 14 %.

Projektin suurin yksittäinen osa-alue oli lujitustyöt. Lujitustöiden osuudesta yli puolet meni ruiskubetonointiin. Ruiskubetonoinnin kustannuksia kasvattavat suuret materiaa-
 limenekit ja kallis materiaali.

Taulukossa 8 on yhden kuuden metrin katkon kokonaiskustannukset, jonka teoreettinen pinta-ala on 65,6 neliometriä. Hanketehtävien kustannus laskettiin hanketehtävien kuukausittaisesta menoerästä, joka jaettiin vastaamaan kahdeksan tunnin osuutta. Kivenajolle laskettiin 8 €/m³ltr. Kaivinkonetyöskentelyn tuntihinta on 85 €.

Taulukko 8. Louhitun ja lujitetun katkon kokonaiskustannukset

Laji	Kustannus (€)
Injektointi	2390,09
Kaivutyö	85
Poraus	760,9
Panostus	1903,6
Kivenajo	3148,8
Rusnaus	255
Ruiskubetonointi	946,6
Pultitus	523,7
Hanketehtävät	683
Yhteensä	10696,7

Lähteet

- 1 Lemminkäinen Oy. 2013. Verkkodokumentti. <http://www.lemminkainen.fi/Lemminkainen/Sijoittajat/Lemminkainen_sijoituskohteena/>. Luettu 4.10.2014.
- 2 Lemminkäinen Oy. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.lemminkainen.fi/Ammattilaiset/Maanalainen-rakentaminen/>>. Luettu 4.10.2014
- 3 RIL 154-1. 1987. Tunneli- ja kalliorakennus. Suomen Insinöörien liitto RIL R.Y. Espoo: Otapaino.
- 4 RIL 154-2. 1987. Tunneli- ja kalliorakennus 2. Suomen Insinöörien liitto RIL R.Y. Espoo: Otapaino.
- 5 Raimo Vuolio & Tommi Halonen. 2010. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy. Tampere: Tammerprint Oy.
- 6 Forcit Oy. 2014. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/pito-anfo-anfo-800-anfo-600/>>. Luettu 10.10.2014
- 7 Forcit Oy. 2014. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemiitti-810/>>. Luettu 10.10.2014

Toimihenkilöstö		€/kk
	Työpäällikkö	7500
	Cdbm-insinööri	7000
	Työmaainsinööri	7000
	Työnjohtaja	7000
	Työnjohtaja	7000
	Työnjohtaja	7000
	Yhteensä	42 500,0 €

Vakuutukset		€/kk
	Louhintavastuuvakuutus	2000
	Työnaikainen vakuus	700
	Yhteensä	2 700,0 €

Yleiskulut		€/kk
	Kahvit, astiat, wc-paperi yms.	462,5
	Tunnelityövarusteet	1541,6
	Haalareitten pesu	291,6
	Työntekijöiden majoitus	6166,7
	Kaatopaikkamaksu	400
	Siirtolava-auto	200
	Jätesäiliö	210
	Siivoustarvikkeet	50
	Siivous majoitustilat	400
	Siivous työmaaparakit	560
	Työmaakilpi	333
	Vartijointi työaikana	8133
	Vartijointi työajan ulkopuolella	600
	Verkkoaita ja portti	3486,6
	Yhteensä	22 835,0 €

Työmaamittaukset ja laadunvarmistus		€/kk
Mittamies		8000
Tarkkavaaaituspisteet		58,3
Huoltoauto		700
Mittausohjelmisto		80
Mittaustarvike		150
Mittausvälineet		900
Tärinäkonsultti		93
Vesinäytteiden analysointi		166,7
Ilmanlaatumittaukset		572,9
Melumittaukset		120
Laadunvalvonta, betoni		25
Laadunvalvonta, injektointi		262,5
Laadunvalvonta, pulttaus		366,7
Laadunvalvonta, RB		425
	Yhteensä	11 900,1 €

Työmaapalvelut		€/kk
Työmaarakennusten pystytys		1250
Työmaarakennusten purku		1083
Työmaarakennusten vuokra		1239
ADSL-yhteydet		500
GSM-yhteys tunneliin		833,33
Puhelinkulut		1000
Toimistokoneet/laitteet		250
Tuuletuslinja		1218,7
Tunnelituulettimet		1800
Sähkölämmitin		250
Huoltohalli		560
Korjaamokontti		253,7
Räjähdyksinevarasto		233
Nallivarasto		189
Kurottaja		3000
Pientyökalut (kompressorit yms.)		2218
Diesel		555
Polttoöljy		166
Vesi+jätevesi		4800
Imuauto		1280
Poistoveden määrän mittaus		1080
Vesiliittymä		250

Vesi- ja poistolinjat		2250
Sähkömies		1800
Sähköverkko		1533
Alajakokeskukset		591
Vyk-ohjauskaapit		584
Sähkötarvikkeet		200
Sähkö		9375
Sähköliittymät		1166
Aggregaatti 10kW		177
Muuntamo		1900
Kuljetuspalvelut		3173
Materiaalirahdit		1216
Huoltoautot		3450
	Yhteensä	51 201,7 €
Hankekustannuksien kuukausimenot	Yhteensä	131 136,8 €

