

# BIOKAASULAITOKSEN RAKENTAMISAIKATAULU

Rakennusosittainen tarkastelu



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari (AMK), Hämeenlinna

Kevät 2024

Jarkko Koivula

## TIIVISTELMÄ

Työssä oli tarkoitus selvittää biokaasulaitoksen rakentamisen aikataulu. Tavoitteena oli helpottaa jatkossa laitosrakentamisen budjetointia ja aikataulun laadintaa. Tämän työn tietojen lähteenä käytettiin samantyyppisten laitosratkaisujen työmaapäiväkirjoja, valokuvaarkistoja, muistiinpanoja ja kalenterimerkintöjä. Toimeksiantajana tässä työssä oli Watrec Oy.

Rakentamisen eri osa-alueista oli saatavilla useita aika-resurssitarve ohjeistoja, mutta niissäkään ei käsitelty suoraan kohteita, joita tässä työssä tutkittiin. Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin varsin selkeät aikataulu- ja resurssitiedot kullekin rakentamisen osalle.

Todellisuudessa rakentaminen ei ollut näin selvästi aikajaoteltua vaan eri kohteita rakennettiin yhtäaikaaisesti synergiahyödyt huomioiden. Tämä oli hyvin havaittavissa liitteenä olevasta aika-resurssi-tilauksesta. Toisaalta tämä selvitys antoi kuitenkin selkeät aikatauluvaatimukset tuleviin rakennuskohteisiin. Lisäksi tämän työn tulosten perusteella voitiin vertailla tulevia alihankkijoiden rakennusaika-arvioita ja tarjouksia.

Master builder

**Abstract**

Hämeenlinna

---

Author Jarkko Koivula

Year 2024

Subject BIOGAS PLANT CONSTRUCTION SCHEDULE, Building review

Supervisors Riku Hyttinen

---

## ABSTRACT

The purpose of the work was to find out the schedule for the construction of the biogas plant. The aim was to facilitate the budgeting and scheduling of plant construction in the future. The data sources for this work were site diaries, photo archives, notes, and calendar entries for similar types of plant solutions. The client in this work was Watrec Oy.

As a result of this thesis, quite clear schedule and resource information was obtained for each part of the construction. In reality, construction was not so clearly time-divided but different sites were built simultaneously, taking into account the benefits of synergies. This was very noticeable from the attached time-resource table. On the other hand, however, this study provided clear timeline requirements for future construction projects. In addition, the results of this work allowed for a comparison of future subcontractor construction time estimates and bids.

Several time-resource guidelines were available for different aspects of construction, but they also did not directly address the sites that were investigated in this work.

Keywords Biogas plant, construction schedule, plant construction

Pages 33 pages and appendices 7 pages

## Sisälllys

1	Johdanto .....	1
2	Biokaasulaitoksen toimintaperiaate.....	1
3	Erilaisia biokaasulaitostyyppjä.....	3
4	Biokaasulaitoksen taloudellinen tuotto .....	4
5	Biokaasulaitoksen rakennuskanta .....	5
5.1	Valvomorakennus .....	5
5.2	Vastaanotto- ja prosessirakennukset .....	6
5.3	Säiliöt.....	8
5.4	Lannoitevarastot .....	9
5.5	Hajunpoisto .....	9
5.6	Muuntoasema .....	10
6	Esimerkkiaikataulut .....	10
7	Tulokset .....	11
7.1	Maarakennusurakka .....	11
7.2	Vastaanotto- ja prosessirakennukset .....	12
7.3	Valvomo .....	15
7.4	Säiliöt.....	16
7.4.1	Reaktorisäiliö .....	16
7.4.2	Jälkimädätesäiliö .....	18
7.4.3	Hydrolyysisäiliö.....	20
7.4.4	Hygienisointi- ja kuumavesisäiliöt.....	20
7.4.5	Lämpölaitos .....	21
7.4.6	Kaasuvarasto .....	22
7.4.7	Kaasunkäsittelytila .....	23
7.4.8	Kaasunjalostustila.....	24
7.4.9	Nestelannoitesäiliö.....	25
7.4.10	Sähkömuuntamo .....	26
7.4.11	Prosessiputkiston valmistus .....	27
7.4.12	Autovaaka.....	27
7.4.13	Soihtupoltin .....	28
7.4.14	Aitaurakka .....	29
7.4.15	Prosessilaitteet.....	29
7.4.16	SIA-urakka .....	30

7.4.17 LVI-urakka.....	30
8 Pohdinta .....	31
Lähteet.....	34

## **Kuvat, taulukot ja kaavat**

Kuva 1. Maanrakennusurakassa käytettiin satelliittipaikannusta.....	12
Kuva 2. Vastaanottorakennuksen ovien asennus. ....	13
Kuva 3. Prosessirakennukseen siirretään erottelulaitteistoa.....	14
Kuva 4. Linkorakennuksen alakerran seinäelementit asennettuina. ....	15
Kuva 5. Valvomon takaseinään asennettu ilmalämpöpumppu. ....	16
Kuva 6. Reaktorin pystytys. ....	18
Kuva 7. Jälkimädätesäiliön laatan reuna. ....	19
Kuva 8. Hydrolyysi- ja jälkimädätesäiliö runkovalmiina. ....	20
Kuva 9. Hygienisointisäiliöt paikallaan betonilaatalla. ....	21
Kuva 10. Lämpölaitoksen maan alle jäävä putkitus vedelle ja sähköjohdoille.....	22
Kuvat 11 a ja b. Kaasun varastopallo kiinnitettiin painetiiviisti laatalle.....	23
Kuva 12 Kaasunjalostuskontti asennettiin paikoilleen kahden autonosturin avulla. ....	24
Kuva 13. Nestelannoitesäiliön asennuksessa oli auki rullauksen aloituspaikka tarkkaan mitattava. ....	26
Kuva 14. Autovaaka asennettiin paaluperusteisten laattojen päälle.....	28
Kuva 15. Ylijäämäkaasun soihstupoltin paaluperusteisella laatalla.....	29

## **Liitteet**

Liite 1	Rakennusaikataulu kohteittain
---------	-------------------------------

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää biokaasulaitoksen rakentamisaikataulua laitososittain. Biokaasulaitoksia on toteutettu erilaisin ratkaisuin asiakkaan toiveet huomioiden. Tässä työssä käsitellään vain terässiiloin varustetun jatkuvatoimisen märkämädätyslaitoksen rakentamisaikataulua. Kohde on rakennettu vuosina 2019-2020 Mäntsälän Hirvihaaraan.

Oma tehtävänimikkeeni rakennustyömaalla oli työmaapäällikkö. Urakan KVR-urakoitsijana toimi työnantajani Watrec Oy. Varsinaisen rakentamisen suorittivat aliurakoitsijat. Aliurakat oli jaettu pääpiirteittäin maarakennus-, rakennus-, LVI-, sähkö-, automaatio- ja prosessi-instrumentointiurakoihin. Suunnittelu oli rakennusteknisiltä osiltaan ulkoistettu.

## 2 Biokaasulaitoksen toimintaperiaate

Biokaasulaitoksen toiminnan peruseriaate on seuraavanlainen (Gasum Oy, 2021):

- Biojäte murskataan ja valmistellaan mädätysprosessia varten liettämällä. Liettäminen tarkoittaa, että biojätteeseen lisätään nestettä, jotta siitä tulee helpommin käsiteltävää.
- Mikrobit tarvitsevat lämpöä, minkä vuoksi biojäte lämmitetään n. 37 asteen lämpötilaan.
- Itse biokaasu tuotetaan mädättämällä biojätettä suurissa säiliöissä noin kolmen viikon ajan.
- Lopuksi kaasu puhdistetaan poistamalla siitä epäpuhtauksia ja hiilidioksidia.
- Tämän jälkeen biokaasu on valmista yritysten sekä kuluttajien käyttöön esimerkiksi kaasuverkkoon syötettynä tai nesteytettynä kaasuna.

Seuraavassa kuvataan biokaasulaitoksen prosessin kulku toimintavaiheittain Watrec Oy toimittamissa laitoksissa (Watrec Oy, 2020)

1. Raaka-aineen vastaanotto
2. Hydrolyysivaihe
3. Hygienisointi
4. Biokaasun tuotanto
5. Ravinnevalmisteet
6. Biokaasun hyödyntäminen
7. Hajukaasujen käsittely

Biokaasulaitoksen raaka-aineen vastaanotossa on tärkeää huomioida, että raaka-aine voi olla nestemäisiä lietteitä, rasvoja ja toisaalta myös biojätettä joka voi olla pakattua tai pakkaamatonta. Nestemäinen raaka-aine voidaan vastaanottaa suoraan prosessiin lietteen vastaanottoaltaan kautta. Biojäte pitää käsitellä niin, että siitä erotellaan varsinainen raaka-aine pakkausmateriaaleista. (Watrec Oy, 2020)

Erottelun jälkeen massa siirretään hydrolyysiprosessiin. Hydrolysoituva raaka-aine on nestemäisenä säiliössä. Hydrolyysimateriaalin kuiva-ainepitoisuus pyritään pitämään 8-13 prosentissa. Hydrolyysivaiheessa raaka-aine pilkkoutuu hajottajamikrobien toimesta sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. (Kymäläinen, 2015)

Prosessoitava biomassa hygienisoidaan haitallisten bakteerien tuhoamiseksi. Tällaisia ovat muun muassa salmonella, Enterococcus Faecalis ja E. Coli-bakteerit. Hygienisoinnissa raaka-aine kuumennetaan yli 70 °C lämpötilaan ja pidetään siinä yli tunti (Ruokavirasto, 2019).

Hygienisoinnista biokaasureaktoriin siirrettäessä lietemassa pitää jäähdyttää mädätysmikroobeille sopivaan lämpötilaan.

Biokaasun tuotanto tapahtuu reaktorissa, jonne hygienisoitu raaka-aine varastoidaan kaasuntuotannon ajaksi. Mädätysprosessissa mikrobit käyttävät biomassaa ravintonaan ja tuottavat siitä metaania (Gasum Oy, 2021).

Biokaasun tuotannon jälkeen raaka-aine erotellaan kuiva-aineeksi ja nesteeksi. Nämä tuotteet jatkavat maanparannus- ja lannoiteaineiksi. Ympäristöhygienian ja luonnonsuojelun kannalta lannoitteiden ja maanparannusaineiden seassa ei saa olla maahan leviäviä haitallisia mikrobeja. (Ruokavirasto, Kasvit, 2023)

Valmis, jalostettu biokaasu siirretään biokaasulaitokselta putkea pitkin kaasuverkkoon.

Kaasun loppukäyttö voi olla lämmön ja sähkön tuotannossa sekä ajoneuvojen polttoaineena. Loppukäyttö määrittää pitkälti biometaanin puhtausvaatimukset. Kattilalaitoksissa

poltettavan biokaasun ei tarvitse olla niin korkealaatuista ja puhdasta kuin liikennepolttoaineena käytettävän biokaasun. (Kymäläinen, 2015, s. 135)

Biokaasun tuotannossa syntyviä hajukaasuja voidaan poistaa teknisin ja biologisin toimenpitein. Yleisiä hajunpoistokeinoja ovat hajukaasupesurin, otsonoinnin ja biosuodattimen käyttö. (Kymäläinen, 2015, ss. 174-175)

### **3 Erilaisia biokaasulaitostyyppjä**

Biokaasulaitoksia voidaan luokitella sekä mädätysprosessin että kokoluokituksen mukaan. Mädätysprosessin perusteella biokaasulaitokset voidaan luokitella kuiva- ja märkämädätyslaitoksiin ja niitä molempia käyttäviin laitoksiin. (Mutikainen, 2016)

Biokaasua jalostetaan pääasiassa kuivaprosessilla tai märkäprosessilla. Kuivaprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on yli 15 %, yleensä noin 20–50 %. Loput seoksesta on vettä. Märkäprosessissa kuiva-ainepitoisuus on alle 15 %. Alaraja märkäprosessin kuiva-ainepitoisuudesta voi olla jopa 5–8 %. (Bioste Oy, 2019) Kuivaa syötettä ei voida pumpata reaktoriin. Se syötetäänkin panostamalla tai jatkuvatoimisesti kuljettimella. Koska kuivaprosessia ei tarvitse lämmittää yhtä paljon kuin märkäprosessia, eikä syötettä siirretä pumppaamalla kuluttaa se vähemmän energiaa kuin märkäprosessi. Prosessina panosprosessi myös kuluttaa vähemmän energiaa kuin jatkuvatoiminen. (Latvala, 2009)

Koon ja sijainnin mukaisia luokituksia ovat maatilakokoluokan laitokset, jäteveden puhdistamolaitokset, yhteismädätyslaitokset, sekä kaatopaikkalaitokset. (Mutikainen, 2016)

Jatkuvatoimiset märkäprosessireaktorit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja melko varmatoimisia. Ne sopivat hyvin myös pienten raaka-ainemäärien käsittelyyn. Kaasun tuotto ja raaka-aineen hajoaminen on tasaista. Märkämädätys sopii lietemäisille raaka-aineille, kuten lietelannalle ja elintarviketeollisuuden jätevesille, jotka sisältävät vain vähän kuiva-ainetta. Reaktoriin voidaan lisätä esimerkiksi peltobiomassoja, mikä lisää kaasuntuottoa vaikuttamatta reaktorin kokoon. Märkämädätys on nykyisin suosituin biokaasuprosessi (Bioste Oy, 2019)

## 4 Biokaasulaitoksen taloudellinen tuotto

Biokaasulaitoksen toiminnan pitää olla taloudellisesti kannattavaa. Laitoksen rahavirroista huomattava on syötteen vastaanottomaksu. (Suomen biovoima Oy, 2019)

Raaka-ainetta tuotaessa laitokselle se punnitaan ja asiakasta veloitetaan painon mukaan. Vastaanottomaksut ovat merkittävä osa biokaasulaitoksen tuloista. Karkeasti arvioiden vastaanottomaksujen osuus liikevaihdosta liikkuu 30 ja 50 prosentin välillä. (Suomen biovoima Oy, 2019)

Säästöt käsittelykuluissa näyttelevät merkittävää osaa toiminnan taloudellisuudessa.

Raaka-aineen käsittelyssä muodostuvat kulut voivat muuttua paljonkin toimitustavasta riippuen. Omakohtaisena esimerkkinä käytän laitosta, joka on suunniteltu syötettäväksi kippaamalla kuorma-auton lavalta suoraan vastaanottoaltaaseen. Kun tällaiselle laitokselle toimitetaan raaka-ainetta trukkilavoille pakattuina lisääntyy käsittelyaika ja työmäärä moninkertaiseksi. Esimerkkinä mainitakseni, seurasin täysperävaununullisen rekan kuorman purkamista. Purkaminen autosta ja trukkilavojen erottelu veivät yhdeltä henkilöltä ja pyöräkuormaajalta noin 4 tuntia. Trukkilavoilla toimitettava materiaali on pakattu pahvi- ja muovilaatikoihin eli niistä syntyy myös laitokselle kustannuksia lisäävää jätettä.

Pahimmillaan rekkakuormasta saatiin vain alle 10 tonnia hyödynnettävää syötettä. Kun vastaava määrä puhdasta syötettä tulee yhdellä pakkaavalla jäteautolla eikä se vaadi yhtään työpanosta laitoshenkilökunnalta niin taloudellisen vaikutuksen ero on huomattava.

Käsittelyssä syntyviä muita kuluja voi syntyä myös prosessihäiriöiden johdosta aiheutuvista laiterikoista.

Erilaiset raaka-aineet eli syötteet tuottavat eri määriä kaasua. Parhaita kaasua tuottavia raaka-aineita on teurasjäte ja biojäte. Näiden biokaasun tuotto voi olla 250 m<sup>3</sup>/tonni, metaanipitoisuuden ollessa jopa 70 %. (Motiva Oy, 2013) Teurasjätteen lisäarvona on myös se, että sen mukana prosessiin saadaan rautaoksidia, joka kemiallisen reaktion kautta vähentää rikkivedyn pitoisuutta kaasussa. (Kymäläinen, 2015, s. 80)

Tuotettua kaasua voidaan käyttää omiin energiatarpeisiin tai sitä voidaan myydä ulkopuolisille. Ulkopuolinen myynti voi olla lämmöntuotantoon suuntautuvaa tai liikennepolttoaineeksi menevää biokaasua. Liikennepolttoaineen pitää olla laadultaan parempaa kuin kattiloissa poltettava lämmitykseen tarkoitettu biokaasu.

Maailmantilanteesta johtuen kaasun hinta nousi keväällä 2022 ja biokaasu antaa hyvän tuoton. (Gasgrid, 2022)

Biokaasulaitoksen lopputuotteita ovat myös mädätejäännökset, jotka separoidaan linkoamalla kuiva- ja nestelannoitteeksi. Biokaasulaitoksen syötteestä riippuen lannoitteet voidaan valmistaa myös luomu-kelpoisiksi. (Kymäläinen, 2015, s. 112)

Kehittyneellä teknologialla biokaasulaitosta voidaan käyttää vähällä työvoimalla ja energiatehokkaasti. Hyvin suunniteltu prosessi käyttää hukkalämpöä hyödyksi esimerkiksi hygienisointivaiheessa. (Suomen biovoima Oy, 2019)

## **5 Biokaasulaitoksen rakennuskanta**

Biokaasulaitoksen toiminnan toteuttaminen vaatii erilaisia tuotantorakennuksia. Karkeasti rakennukset voidaan jakaa valvomo-, vastaanotto-, tuotanto- ja varastotiloihin. Alla on esitetty Mäntsälän biovoima oy:lle rakennetun biokaasulaitoksen tilakohtainen rakennuskanta. Rakennusten ominaisuuksiin vaikuttavat erilaiset lainsäädännöt. Ohjeistavia ja rajoittavia sääntöjä tulee muun muassa räjähtävien ja palavien kaasujen käsittelyyn, elintarvike- ja lannoitehygieniaan, ympäristönsuojeluun ja ympäristöterveyteen sekä ilmansuojeluun liittyvistä laeista ja asetuksista.

### **5.1 Valvomorakennus**

Toimiva valvomorakennus edellyttää n 100 –150 m<sup>2</sup> pinta-alaltaan olevaa talomaista toimistorakennusta. Laitoksen toiminnan aikana työntekijät työskentelevät valvomossa yli puolet ajastaan. Tähän tilaan on myös rakennettu prosessien ohjaukseen tarvittavat tietoliikenneyhteydet ja atk-käyttöliittymät. Valvomorakennus jaetaan puhtaaseen ja likaiseen puoleen. Näiden tilojen välillä kuljetaan pesu- ja sosiaalitilojen kautta. Puhdas puoli on tila, johon saavutaan töihin tultaessa ja josta poistutaan töistä lähtiessä. Likainen puoli on se tila, jossa tehdään töitä työvaatteet päällä. Mäntsälän biokaasulaitoksessa valvomorakennus toteutettiin teräspalkkirunkoisena pelti-uretaani-pelti-elementein lämpöeristettynä rakennus. Rakennuksessa on myös pesutilat ja sauna.

## 5.2 Vastaanotto- ja prosessirakennukset

Vastaanottorakennus on nimensä mukaisesti halli mihin saapuvat biokaasun raaka-aineet tuodaan. Biojätteelle ja lietteelle on omat vastaanottoaltaansa. Vastaanottoaltaiden koko on yleensä n 200-300 m<sup>3</sup>. Vastaanottorakennus mitoitetaan siten että sinne pystytään ajamaan kuorma-autolla ja kuorma pystytään kippaamaan vastaanottoaltaaseen. Vastaanottoaltaista biojäte siirretään prosessin jatkokäsittelyyn nosturilla kauhomalla ja liete pumppaamalla. Mäntsälän biokaasulaitoksen vastaanottorakennus on automaattinosto-ovin varustettu teräsrunkoinen pelti-uretaani-pelti-elementein lämpöeristetty halli. Vastaanottohallissa työskennellään koko ajan ja siitä syystä ilmanvaihdon pitää olla riittävä. Ilmanvaihdon mitoituksena käytetään normaalia työskentelytilojen mitoitusta lisätynä tehokkailla kohdepoistoilla hajuhaittojen minimoimiseksi. Ohjearvon mukaisesti laskettu yhdistetyn Mäntsälän biokaasulaitoksen vastaanotto- ja prosessirakennuksen ilmanvaihto tulee olla yli 7200 m<sup>3</sup>/h. (Finvac ry, 2020)

Prosessirakennuksessa biojäte jalostetaan kaasuntuotantoon sopivaksi. Siellä olevalla laitteistolla raakamateriaalista erotellaan muovi, hiekka ja muut prosessiin soveltumattomat fraktiot. Prosessirakennuksessa myös hygienisoidaan raaka-aine ja prosessiin liittyvät siirtopumput on sijoitettu pääosin prosessirakennukseen. Mäntsälän biokaasulaitoksella prosessirakennus on nosto-ovin varustettu teräsrunkoinen pelti-uretaani-pelti-elementein lämpöeristetty halli. Tässä tapauksessa vastaanotto ja prosessitilat ovat toisiinsa yhteydessä samana rakennuksena.

Kuivaus- eli linkorakennuksessa erotellaan kuiva-aine ja neste omiksi jakeikseen lannoituskäyttöön. Erottelu suoritetaan tätä varten suunnitellun lingon avulla. (Kymäläinen, 2015, s. 101) Linkorakennuksesta nestemäinen lannoite siirretään putkiston kautta varastosäiliöön, kuivalannoite puolestaan siirretään mekaanisesti kuivalannoitteen varastointialueelle. Käytännön sanelemana Mäntsälän biokaasulaitoksella linkorakennus on suunniteltiin kaksikerroksiseksi. Toisessa kerroksessa sijaitseva linko pudottaa kuivajakeen alakerran siiloon, josta se kauhotaan koneellisesti pois. Kuivalannoitteen varastoalue on päällystetty tiivisasfaltilla ja kaikki kertyvät hulevedet toimitetaan takaisin prosessiin käsiteltäviksi. Linkorakennuksen alakerta on valmistettu betonielementeistä ja toinen kerros teräsrunkoisena pelti-uretaani-pelti-elementeistä.

Tavallisesti biokaasulaitoksen tarvitsema lämpö tuotetaan laitoksen itse tuottamalla biokaasulla, joten käytössä on lämmöntuottorakennus. Käyttövesien lisäksi laitos tarvitsee kuumaa vettä prosessissa hygienisointiin ja pesuihin. Biokaasulaitoksella voidaan tuottaa lämmön lisäksi myös sähköä. Tällöin puhutaan CHP-laitoksesta (Combined Heat and Power). (Suomen biovoima Oy, 2019) Mäntsälän biokaasulaitoksella lämpölaitos toteutettiin valmiilla lämpökeskuskontilla, joka asennettiin valmiiksi tehdylle perustukselle. Etuna erillisen kontin käytössä todettiin parempi laadunhallinta valmistusvaiheessa ja valmistusolosuhteiden riippumattomuus sääolosuhteista. Käyttöturvallisuuden takia kattilalaitoksen yhteyteen rakennettiin erillinen umpinainen 20 m<sup>3</sup> öljynkeräyskaivo, johon öljyvuodon sattuessa maahan valunut öljy kerätään.

Tyypillisesti reaktorilta tuleva kaasu varastoidaan muovikankaasta valmistettuun varastosäiliöön. Toiminnassa ollessaan varaston muoto muistuttaa palloa, josta syystä usein puhutaan kaasupallosta. Valmistusmateriaalista johtuen varastosäiliö pitää paineistaa ryhdissä pysymisen varmistamiseksi. Kaasuvarasto on erityistä räjähdysvaarallista aluetta. Sen ympäristö määritellään ATEX-alueeksi ja kaikki laitteet sekä työkalut alueella tulee olla kipinöimättömiä.

Varastoitavan kaasun paineen ollessa 30 mbar painelaitedirektiivin käyttöä laitteistossa ei edellytetä. Mäntsälän biokaasulaitoksella varastosäiliö valmistettiin betonilaatalle kiinnitetyistä kaksinkertaisesta pressusta. Ulkoilman lämpötilaeroista johtuen varastoon kerättävästä kaasusta kondensoituu kosteutta. Kondenssivesi erotellaan kaasusta erillisessä kondenssikolonissa, josta se johdetaan suljetun viemäriverkoston kautta takaisin prosessiin.

Lopullinen kaasunjalostus tehdään erillisessä, ATEX-määritellyssä, rakennuksessa. Kaasusta poistetaan epäpuhtauksia aktiivihillen ja membraanisuodattimien avulla. Ennen jalostukseen tuloa kaasu paineistetaan ulkoisen kaasuverkon vaatimaan 6 barin paineeseen. Jalostettu kaasu on liikennepolttoaineeksi kelpaavaa. Jalostuslaitoksessa mitataan myytävän kaasun määrä lähtevässä putkilinjassa. Kaasunjalostus on järkevää myöskin tehdä erillisessä kontissa, joka voidaan hankkia alihankintana avaimet käteen-periaatteella. Kiinteäksi rakenteeksi tarkoitettu kontti ei rakennusteknisesti vaadi muuta kuin vaakatasoon asennetut betonipalkit perustuksiksi.

### 5.3 Säiliöt

Mäntsälän biokaasulaitokselle hygienisointisäiliöt (kolme yksikköä) hankittiin säiliövalmistajalta alihankintana ja ne asennettiin ulos 5x20m teräsbetonilaatalle. Hygienisointisäiliön toimintaperiaate on varastoida hygienisointilämpötilaan kuumennettu raaka-aine hygienisointiin tarvittavan ajan. Hygienisointi tapahtuu erinä vuorotellen useassa säiliössä. Energiataloudellisesti toteutettuna hygienisointi suoritetaan kahden säiliön ollessa parina. Tyhjentyvän säiliön lietemassasta otetaan talteen lämpöä, jolla lämmitetään toiseen säiliöön hygienisoitavaksi menevää lietettä. Lisälämmön tarve korvataan lämpökeskuksen tuottamalla lämmöllä.

Hydrolyysisäiliössä prosessi hydrolysoidaan. Prosessin tässä vaiheessa syntyy aminohappoja, rasvahappoja ja sokereita. Säiliö on ensimmäinen iso säiliö johon prosessoitava raaka-aine kerätään. Säiliössä olevaa lietettä on sekoitettava mekaanisilla sekoittimilla tai pumpuilla koko ajan pohjalle kertyvän sakkautumisen estämiseksi. Mäntsälän biokaasulaitoksessa hydrolyysisäiliön koko on 1800 m<sup>3</sup>. Säiliön päällä olevat rakenteet ovat ATEX-alueita. Hydrolyysisäiliö on perustettu halkaisijaltaan 12 metrin betonilaatalle. 15 metriä korkea säiliö on paikalla, moduuleista koottu teräsrakenteinen ja eristetty siilo. Säiliön päälle on rakennettu valaistu huoltotaso. Hydrolysoitavaa lietettä sekoitetaan katosta roikkuvalta siipisekoittimella. Ylipaineen aiheuttamien vaurioiden estämiseksi säiliöön on asennettu varoventtiili. Vesipatsaalla toimiva varoventtiili on säädetty 30 mbarin laukaisupaineeseen.

Reaktorisäiliössä tapahtuu varsinainen biokaasun tuotto ja kerääminen varastoon. Reaktorisäiliö on osin ATEX-alueita. Rakenteeltaan säiliö on teräsrunkoinen paikalla koottu siilo. Säiliö on seinämiltään eristetty ja perustettu halkaisijaltaan n 15 m teräsbetonilaatalle. Säiliön korkeus on 18 metriä ja tilavuus 3000 m<sup>3</sup>. Mäntsälän biokaasulaitoksella reaktorisäiliö on maapohjalle suurimman rasituksen aiheuttava rakennus tontilla. Sen paino täytenä voi olla 3150 tonnia. Maahan kohdistuva paine on n 175 kPa. Säiliössä olevaa lietettä on sekoitettava mekaanisilla sekoittimilla tai pumpuilla koko ajan pohjalle kertyvän sakkautumisen estämiseksi. Reaktorisäiliön ylipaineen esto on toteutettu samanlaisella varoventtiilillä kuin hydrolyysisäiliössäkin.

Jälkimädätesäiliö on prosessissa reaktorin jälkeen. Jälkimädätesäiliö kuuluu osin ATEX alueen piiriin. Jälkimädätesäiliöön kerätään jo kaasua tuottanut liete odottamaan kuiva-aineen ja nesteen erotusta. Mäntsälän biokaasulaitoksella jälkimädätesäiliö on rakenteeltaan identtinen hydrolyysisäiliön kanssa. Jälkimädätesäiliössä liete tuottaa vielä jonkun verran biokaasua, joka kerätään hyödynnettäväksi. Jälkimädätesäiliö on suojattu ylipaineelta vastaavalla varoventtiilillä kuin hydrolyysi- ja reaktorisäiliötkin.

#### **5.4 Lannoitevarastot**

Nestemäisen lannoitteen varasto on Mäntsälän biokaasulaitoksella toteutettu muovisella säkkimäisellä umpisäiliöllä. Säiliön materiaali on paksua pvc-muovikangasta. Rakenteellisesti säiliö on upotettu salaojitettuun ja kankaalla suojattuun pengerrytyyn allasmaiseen kaivantoon. Säiliössä on kaksi betonilaatoille perustettua siipisekoitinta. Säiliön täyttö ja tyhjennys tehdään säiliön pohjaan asennetun putken kautta. Tyhjennystä varten säiliön viereen on tehty betonirakenteinen kaivo josta lannoite imetään säiliöautoon.

Ympäristöturvallisuuden takia varaston alla olevaa maata tarkkaillaan useilla tarkkailukaivoilla, joihin keruuputkiston kautta saadaan näytteenotto-materiaalia.

Kuivalannoitteelle on rakennettu tiivisasfalttoitu kenttä. Mäntsälän biokaasulaitoksella tiivisasfalttikentän koko on n 500 m<sup>2</sup>. Kuivalannoite tuodaan lannoitekentälle pyöräkuormaajalla varastoitavaksi kasoihin. Poisvienti tapahtuu kuorma-autokuljetuksina. Rakenteellisesti varastokenttä on tehty niin, että lannoitteen kuormaus onnistuu kauhalla. Alueelle on myös asennettu hulevesikaivot ja pumppaamo valumavesien keräämiseksi takaisin prosessiin. Yleisenä periaatteena biokaasulaitoksella on, että mitään hulevesiä ei päästetä ympäristöön. Kaikki tontilla muodostuvat hulevedet pystytään ohjaamaan prosessiin. Tontilta lähtevä hulevesien purkuputki on myös varustettu ympäristöluvan vaatimalla sulkuventtiilillä.

#### **5.5 Hajunpoisto**

Hajukaasujen poisto on toteutettu otsonoimalla hajukaasuja. Laitteistossa ilmenneiden käytännön ongelmien takia hajukaasujen poistoon on lisätty biosuodatin, jossa luonnon omat organismit, kuten esimerkiksi bakteerit suodattavat hajuja pois (Kymäläinen, 2015, s.

175). Muutos saatiin valmiiksi syyskuussa 2021. Biosuodatin rakennettiin asfaltoidulle pihalle. Rakenteeltaan biosuodatin muodostuu seiniksi kasatuista betonisista Luja-moduuleista, pohjalle rakennetuista ilmanavista ja biomateriaalitäytöstä. Biomateriaalissa elävät mikrobit käyttävät ravinnokseen hajukaasujen tuoksua tuottavia ainesosia ja näin poistavat epämiellyttäviä hajuja. Biosuodattimen koko on 12x15 m ja sen korkeus on 1,5 metriä.

## 5.6 Muuntoasema

Laitoksen sähkön tarve toteutettiin 20kV kaksoisvarmistetulla syöttöjohdolla. Käyttöä varten jännitteet muutetaan normaaleiksi 230 V kolmivaiheisiksi jännitteiksi. Nykykäytännön mukaisesti muuntamo on toteutettu paikalle tuotuna moduuliratkaisuna. Rakentamisen osuus muuntamossa olikin vain perustaminen ja kaapelikanavien kaivuutyöt. Muuntamon sijoitus laitoksen pihalle sisälsi huomattavan paljon maan alle sijoitettavien johtojen kaivutöitä. Toisaalta tontin sijainti ja turvamääräykset (ELY-keskus, 2022) aiheuttivat pohdintaa muuntamon sijoitukselle moottoritien E75 suoja-alueelle.

## 6 Esimerkkiaikataulut

Tässä työssä olen pyrkinyt löytämään rakentamisaikataulut muutamalta eri biokaasulaitostyömaalta. Käytin apuna työmaapäiväkirjoja, omia muistiinpanoja ja rakennusaikaisia valokuvadokumentointeja. Pettymyksen minulle tuotti työmaapäiväkirjojen puute, sillä neljän rakennustyömaan osalta löysin työmaapäiväkirjat vain yhdeltä työmaalta. Tästä syystä aikataulujen lähtötiedot perustuvat yhden rakennustyömaan tietoihin. Aikatauluissa on selvitetty lähinnä varsinaisten työvuorojen käyttö rakentamiseen. Valuihin yms. kuivumisiin liittyvät ajat pitää huomioida erikseen aikatauluja tarkastellessa. Työaikatauluissa laskin kuhunkin rakennuskohteeseen käytetyt työvuorot ja työryhmän koon.

Tämän työmaan työntekijäresurssien vertaaminen Rakennusosien kustannuksia kirjan esimerkkeihin muodostui hyvin hankalaksi. Tällä työmaalla rakennusten perustukset tehtiin pilarianturoilla, jota perustamistapaa en suoraan löytänyt ROK-kirjasta. Varsinaiset perustukset jätettiin valamatta ja ne korvattiin alareuna maahan-asennetun sandwich-

elementin kylkeen ulottuvalla lattiavalulla. Ainoat rakennukset, joiden osalta rakentamisen ohjeaikoja pystyi vertaamaan, olivat vastaanotto- ja prosessirakennus sekä valvomo-rakennus. Alapohjien osalta vastaanotto- ja prosessirakennuksen pohjalaatta muistuttaa läheisesti ROK-kirjassa (Rakennustieto Oy, 2019) alapohjaa no 401, tosin ilman muovimattoa. Valvomossa alapohja on kuivien tilojen osalta 402 ja märkätilojen osalta 403.

Esimerkkiaikatauluja oli siis hyvin hankala käyttää. Koska työn tarkoituksena on tuottaa suuntaa antavia tuloksia yksittäisten rakennuskokonaisuuksien aikatauluista tuleviin projekteihin, liian tarkat yksilöidyt tuotantoajat eivät anna erityistä lisäarvoa aikataulujen suunnitteluun. Eroja ROK-kirjan aikatauluihin voivat aiheuttaa myös työtapojen erilaisuus ja mahdollisuus käyttää koneita apuna. Myöskin parin työmiehen lainaaminen päiväksi muista töistä muuttaa tulosta vaikka sitä ei ole merkitty työmaan aikaisiin työsuoritedokumentteihin.

Kokonaisuudessaan tarkastelemani biokaasulaitoksen rakentamisaikataulu oli 17 kuukautta. Yksittäisten kohteiden rakentaminen kesti useita kuukausia joten siitä ei suoraan pysty määrittämään yksittäisen kohteen rakennusaikataulua. Syy tähän on pääasiassa se, että rakentamisen eri vaiheiden ajoitus kohdistuu työsuoritteiden järkevään aikatauluttamiseen eikä yhden kohteen / rakennuksen yhtäjaksoiseen, mahdollisimman suoraviivaiseen valmistumiseen.

## **7 Tulokset**

### **7.1 Maarakennusurakka**

Maarakennusurakka koski tontin koko 2 hehtaarin aluetta. Tontin ylävillä osilla maarakennusurakkaan kuului kallioperän louhimista n 7000 m<sup>3</sup> ja alavan tontinosan täyttööä louheella. Suurimmillaan valmiin pihan taso laski yli neljä metriä luonnonvaraisesta tasosta. Alavan tontinosan pihapintaa nostettiin kahdella metrillä alkuperäisestä.

Maarakennusurakka aloitettiin kesäkuussa 2019 ja maarakennuksen osalta urakka päättyi toukokuussa 2020 tontin tulotien pohjarakenteiden valmistumiseen. Maarakennusurakka kesti 12 kuukautta ja siihen käytettiin 533 työvuoroa. Seurantataulukosta nähdään

maarakennusurakan tuntikohtaiseksi saannoksi työmaalla 26 m<sup>3</sup>. ROK-kirjan antama arvo on 42,4 m<sup>3</sup>. Ero selittyy maamassojen siirrosta tulleesta työstä, jota ROK-kirjan arvioon ei ole sisällytetty. Maarakennusurakkaan kuuluneiden paalutus- ja asfaltointitöiden saannot ovat seurantataulukon mukaan alle 50% (paalutus) ja yli 150% (asfaltointi) ROK-kirjan antamista arvoista. Koska työt tehtiin pituus- ja pinta-alaperusteisina aliorakoina, niin niiden tehokkuus ei vaikuttanut suoranaisesti pääurakoitsijan toimintaan. Kuvassa 1 nähdään maamassojen siirtoa tontilla.

Kuva 1. Maarakennusurakassa käytettiin satelliittipaikannusta.

Kuva Jarkko Koivula, 2019



Pohjatyöt eri rakennuksille aikataulutettiin maarakennusurakkaan sopiviksi ja toisaalta myös maarakennusurakkaa soviteltiin sen mukaan, kuinka kiireisesti eri rakennuksien perustusten piti olla valmiina. Pohjarakenteena kaikille rakennuksille oli suunniteltu perusmaan sekä louheen ja suodatinkankaan päälle 300 mm paksu kantava kerros 0- 45 mm mursketta, 300 mm paksu kapillaarisen kosteuden nousun katkaiseva kerros 6-32 mm mursketta ja EPS-eristekerros ennen lattialaattaa.

## 7.2 Vastaanotto- ja prosessirakennukset

Vastaanottorakennuksen pohjatyöt aloitettiin heinäkuussa 2019. Kaivutöiden edetessä huomattiin varsin nopeasti, että vastaan tulee peruskallio, jota piti louhia. Louhinta aiheutti viivettä töissä erityisesti melua aiheuttavan toiminnan ilmoitusajan osalta. Louhinnasta pitää

tehdä ilmoitus viranomaiselle 30 päivää ennen töiden aloittamista. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, § 118) Louhimisessa oli myös otettava huomioon lähimmillään vain noin 20 m etäisyydellä kulkeva E75-moottoritie ja naapuritontilla oleva paikallisen sähköyhtiön sähköasema. Vastaanottorakennuksen rakentamiseen käytettiin 8 kuukauden aikana 186 työvuoroa. Vastaanotto- ja prosessirakennuksen teräsrunko eikä seinä- ja kattoelementtien rakenne vastaa ROK-kirjassa esitettyä. Teräsrungon saanto oli 3,1 m<sup>2</sup>/h ja elementtien asennuksen saanto 9,4 m<sup>2</sup>/h. Kuvassa 2 nähdään vastaanottorakennuksen nosto-ovien asennusta.

Kuva 2. Vastaanottorakennuksen ovien asennus.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



Biokaasulaitoksen prosessirakennus rakennettiin vastaanottorakennuksen yhteyteen. Tilojen välillä ei ole väliseiniä, mutta lattioiden välillä on 1 metrin korkeusero. Prosessirakennukseen sijoitettiin mm prosessin vaatimat jakeiden murskaus- ja erottelulaitteet, pumput lämmönvaihtimet ja hylkymateriaalin keräyspisteet. Prosessirakennuksen rakentamiseen käytettiin 2 kuukauden aikana 38 työvuoroa. Kuvassa 3 nähdään jakeiden erottelulaitteiston siirto paikalleen.

Kuva 3. Prosessirakennukseen siirretään erottelulaitteistoa.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



### Linkorakennus

Linkorakennus rakennettiin erilleen muista rakennuksista. Syynä tähän oli se, että linkorakennuksen syöte otetaan jälkimädätesäiliöstä. Tämän takia linkorakennus rakennettiin jälkimädätesäiliön viereen. Linkorakennuksen perustus valettiin talvikuukausina. Leudon talven aikana pakkasia ei ollut mutta lämpötila oli kuitenkin alle +5°C jolloin valaminen tehtiin talvibetonointina. Linkorakennuksen rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 38 työvuoroa. Rakentamisen aikaisesta saannosta ROK-kirjasta löytyvä vertailukohta on rakennuksen pohjatyöt. Työmaalla saanto oli 0,5 m<sup>2</sup>/h ROK-kirjan arvo 2,11 m<sup>2</sup>/h. Huimaa eroa arvoissa voinee selittää epätarkalla seurannalla ja työn pirstaloitumisella pitkälle ajalle. Kuvassa 4 nähdään linkorakennuksen ensimmäisen kerroksen seinäelementit ja osin toisen kerroksen lattiaa.

Kuva 4. Linkorakennuksen alakerran seinäelementit asennettuina.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



### 7.3 Valvomo

Valvomo suunniteltiin omaksi rakennukseksi siitä syystä, että kaikki asiakaskontaktit, vierailijat ja muut laitoksella kävijät otettaisiin vastaan lähellä porttia olevassa, puhtaassa tilassa. Valvomon toteuttamisessa suurena haasteena onkin saada eriytettyä ns. likaiset ja puhtaat tilat. Likaisissa tiloissa puetaan ja riisutaan työn aikana pidettävät suojavaatteet ja pestään ne. Puhtaissa tiloissa taas pitää pystyä olemaan normaaleissa toimistotyövaatteissa. Suurin työ valvomon rakentamiseen liittyen oli maanalaiset työt. Tähän rakennukseen kaivettiin eniten johtoja ja putkia koko työmaan aikana. Rakennuspaikan sijainnista johtuen valvomossa piti huolehtia myös radonsuojauksesta. Valvomo on perustettu pilarianturoiden päälle ja lämpöeristetty, jonka jälkeen valettiin lattiaa. Lämmitysjärjestelmänä valvomossa on vesikiertoinen lattialämmitys ja ilmalämpöpumppu. Valvomon rakentamiseen käytettiin 3 kuukauden aikana 63 työvuoroa. Valvomon osalta Rok-kirjan saantoarvoihin verrannollisia työvaiheita olivat pohja-, runko- ja seinä- sekä kattoelementtien asennustyöt.

Pohjatöiden saanto 2,0 m<sup>2</sup>/h vastaa likimain ROK-kirjan arvoa 2,11 m<sup>2</sup>/h. Runkotöiden osalta tuntisaannon 1,0 m<sup>2</sup> (vertailuarvo 2,95 m<sup>2</sup>) selittävä tekijä lienee seurannan epätarkkuus. Seinä- ja kattoelementtien asennustöiden saanto vastaa hyvin ohjearvoa, työmaa 2,9 m<sup>2</sup>/h ohjearvo 3,33 m<sup>2</sup>/h. Kuvassa 5 on näkyvissä valvomon perustusta ja seinään asennettu ilmalämpöpumppu.

Kuva 5. Valvomon takaseinään asennettu ilmalämpöpumppu.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



## 7.4 Säiliöt

### 7.4.1 Reaktorisäiliö

Reaktorisäiliö esivalmistettiin ja pintakäsiteltiin valmiiksi konepajalla. Prosessin olosuhteiden johdosta sisäpintojen tulee kestää hyvin erilaisia kemiallisia rasituksia, erityisesti rikkiyhdisteitä ja syövyttäviä pH-arvoja. Rakentaminen aloitettiin maapohjan kantavuustutkimuksilla ja säiliön sijoitus alueelle määräytyi tuon tuloksen mukaan. Säiliö perustettiin louheen ja tiivistetyn sepelin/soran päälle. Ennen pohjavalua asennettiin

tyhjennysputki keskelle säiliön lattiapintaa. Raudoituksien jälkeen valettiin reunavahvistettu betonilaatta. Teräsrunkoinen säiliö koottiin n 3 x 4 m kokoisista lohkoista. Nostotyöt tehtiin autonosturilla, jolle oli valmistettu paikka kohtaan, josta se pystyi nostamaan myös hydrolyysi- ja jälkimädätesäiliön lohkot paikoilleen. Rakentamisen suoritti nosturinkuljettajan lisäksi kaksimiehininen työryhmä. Seinälohkot asennettiin täyskorkeiksi maassa ja nostettiin yksi kerrallaan pystyyn ja kiinnitettiin viereisiin lohkoihin. Reaktorin katto asennettiin yhtenä maassa koottuna lohkona. Ennen huoltoluukkujen sulkemista säiliöön asennettiin pystakselinen lapasekoitin. Sekoitin kiinnitettiin katosta riippuvaksi. Säiliön eristäminen ja prosessiputkien asennusta voitiin suorittaa saman aikaisesti. Kun putkistot ja mittausinstrumentit oli asennettu, säiliö voitiin koeponnistaa paineella. Vaikka säiliö koeponnistettiin paineella se ei ole painelaitedirektiivin alainen. Koeponnistuspaine oli 40 mbar, joka säiliön tuli kestää vuorokauden ajan. Keväistä koeponnistusta haittasi yön ja päivän lämpötilaerot, jotka nostivat painetta liiaksi päivällä ja laskivat sitä yöllä. Reaktorisäiliön rakentamiseen käytettiin 8 kuukauden aikana 63 työvuoroa. Työsaannon osalta pohjalaatan valu oli Rok-kirjassa vertailukelpoinen. Sen osalta saanto työmaalla oli 1,3 m<sup>2</sup>/h ohjearvon ollessa 0,7 m<sup>2</sup>/h. Seuraavassa kuvassa 6 nähdään osittain pystytetty reaktorisäiliö.

Kuva 6. Reaktorin pystytys.

Kuva Jarkko Koivula, 2019



#### 7.4.2 Jätkimädätesäiliö

Jätkimädäte säiliön rakentaminen tapahtui lähes identtisesti kuten reaktorisäiliönkin.

Rakentamisaikataulu säiliöiden kesken määräytyi niiden sijaintien mukaan.

Jätkimädätesäiliön rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 48 työvuoroa. Työsaannon osalta pohjalaatan valu oli Rok-kirjassa vertailukelpoinen. Sen osalta saanto työmaalla oli 0,8 m<sup>2</sup>/h ohjearvon ollessa 0,7 m<sup>2</sup>/h. Alla olevassa kuvassa 7 näkyy seinäelementtien ankkurointeihin jätetty jälkivalettava tila.

Kuva 7. Jälkimädätesäiliön laatan reuna.

Kuva Jarkko Koivula, 2019



### 7.4.3 Hydrolyysisäiliö

Hydrolyysisäiliön rakentaminen tapahtui samalla tavalla kuin aiemmin kuvatus reaktorisäiliönkin. Seuraavassa kuvassa 8 näkyvät hydrolyysi- ja jälkimädätesäiliöt sekä reaktorisäiliön pohjalaatta, kuvassa etualalla. Hydrolyysisäiliön rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 50 työvuoroa. Työsaannon osalta pohjalaatan valu oli Rok-kirjassa vertailukelpoinen. Sen osalta saanto työmaalla oli 1,0 m<sup>2</sup>/h ohjearvon ollessa 0,7 m<sup>2</sup>/h.

Kuva 8. Hydrolyysi- ja jälkimädätesäiliö runkovalmiina.

Kuva Jarkko Koivula, 2019



### 7.4.4 Hygienisointi- ja kuumavesisäiliöt

Hygienisointi- ja kuumavesisäiliöitä varten prosessihallin viereen valettiin oma teräsbetoni-laatta. Tilavuudeltaan 20 m<sup>3</sup> säiliöt asennettiin rinnakkain laatalle jolloin niille voitiin rakentaa yhteinen kulkusilta. Säiliöt toimitettiin työmaalle valmiina ja asennettiin paikalleen kokonaisina. Ainoastaan tikkaat ja kulkusilta koottiin osista työmaalla. Asennuksen jälkeiselle prosessiputkiston rakentamiselle ja mittausinstrumenttien

asentamiselle omat haasteensa loi seinän läpiviennit ja seinän läheisyys ylipäättään. Erityistä tarkkavaisuutta piti olla kun asennettiin kattilaitokselta tulevia kaukolämpöputken liitoksia säiliöiden liitosyhteisiin. Hygienisointisäiliöiden rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 42 työvuoroa ja kuumavesisäiliöiden rakentamiseen 35 työvuoroa. Työsaannon osalta pohjalaatan valu oli Rok-kirjassa vertailukelpoinen. niiden osalta saanto työmaalla oli hygienisointisäiliöillä 0,8 m<sup>2</sup>/h ja kuumavesisäiliöillä 0,6 m<sup>2</sup>/h ohjearvon ollessa 0,7 m<sup>2</sup>/h. Seuraavassa kuvassa 9 näkyy kolme hygienisointisäiliötä paikalleen asennettuina.

Kuva 9. Hygienisointisäiliöt paikallaan betonilaatalla.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### 7.4.5 Lämpölaitos

Lämpölaitos toteutettiin valmiilla laitokselle toimitettavalla kontilla. Kontti perustettiin hiekkapatjan päälle asennetuille betonipalkeille. Yhteydet muuhun laitokseen toteutettiin maahan kaivetuilla putkilla. Sähköt, automaatio ja paineilmajohdot vietiin sähköpääkeskukseen. Kuuman veden johtamiseen kuumavesisäiliöihin käytettiin taipuisaa DN100 kokoista kaukolämpöputkea. Lämpölaitoksen rakentamiseen käytettiin 5 kuukauden

aikana 66 työvuoraa. Alla olevassa kuvassa 10 näkyy lämpölaitoksen maahan kaivetut putkiyhteydet muuhun laitoskokonaisuuteen.

Kuva 10. Lämpölaitoksen maan alle jäävä putkitus vedelle ja sähköjohdoille.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### **7.4.6 Kaasuvarasto**

Kaasukelloksikin kutsutun kaasun varastopallon rakentaminen löyhälle, ei kantavalle maalle pakotti perustuksien tukemisen paaluttamalla. Työvaiheena paalutus ei ollut kovinkaan iso, mutta työn luvitus vaatii 30 päivän ilmoitusajan. Ilmoitukset pitää tehdä tärinää ja melua aiheuttavista työvaiheista. Tämä yhdessä louhinnan ja louheen murskauksen ilmoitusmenettelyn kanssa voivat viivästyttää tiukalle aikataululle suunniteltua työmaata. Omassa kohteessani saimme kuitenkin järjestettyä eri työvaiheita niin etteivät lupa- ja ilmoitusmenettelyt aiheuttaneet varsinaisia viivästyksiä. Paalutus ulottui kaikilla viidellä

paalulla noin 10 metrin syvyyteen. Kaasuvaraston täyttämiseen ja tyhjentämiseen tarkoitettu eristetty teräsputki asennettiin maahan laatan keskelle. Pohjalaatta valettiin tiivistetyn sorapatjan päälle niin, että paalut upotettiin vähintään 50 mm laatan sisään, rauditus esille otettuna. Varsinaisen kaasuvaraston kiinnitys laattaan tapahtui ankkuroimalla kiinnityslistat pulttikiinnityksellä laattaan. Prosessiputkistoon liittyen kaasuvaraston yhteyteen tehtiin vedenerotukseen kondenssivesikaivo. Kaasuvaraston yhteyteen rakennettiin myös sähköistys painepuhallinta varten. Kaasuvaraston rakentamisen yhteydessä piti ottaa huomioon tulevan käytön aikana esiintyvä EX-vaatimus. Kaasuvaraston ympäristö luokitellaan räjähdysvaaralliseksi tilaksi. Kaasuvaraston rakentamiseen käytettiin 2 kuukauden aikana 23 työvuoroa. Työsaannon osalta pohjalaatan valu oli Rok-kirjaan nähden vertailukelpoinen. Sen osalta saanto työmaalla oli 1,9 m<sup>2</sup>/h ohjearvon ollessa 0,7 m<sup>2</sup>/h. Kuvissa 11 a ja b nähdään kaasuvarasto rakennusvaiheessa paineettomana ja paineistettuna.

Kuvat 11 a ja b. Kaasun varastopallo kiinnitettiin painetiiviisti laatalle.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### 7.4.7 Kaasunkäsittelytila

Kaasu johdetaan putkea pitkin varastoinnista paineistukseen. Kaasu siirretään jalostettavaksi 5-6 barin paineessa. Paineistus tehdään ns kaasunkäsittelytilassa, joka toteutettiin konttiratkaisuna. Työmaalla kontti perustettiin tiivistetylle sorapedille asennettujen betonipalkkien päälle. Muu työ kontin rakentamiseen liittyen oli prosessiputkiston ja

instrumentoinnin asentamiseen sekä sähköistykseen liittyvää. Kaasunkäsittelytilan rakentamiseen työmaalla käytettiin 3 kuukauden aikana 19 työvuoraa.

#### 7.4.8 Kaasunjalostustila

Kaasunjalostustila sijoitettiin kaasunkäsittelykontin viereen. Jalostustila on myös konttiin toteutettu laiteyksikkö. Jalostuskontti on rakennettu alihankkijan tiloissa ja rekkakuljetuksella toimitettu työmaalle. Jalostusyksikkö muodostuu kahdesta kontista, jotka ovat varsinainen jalostustila ja toisessa on jalostuksen vaatima sähköpääkeskus. Kuten muutkin tontille rakennetut konttiratkaisut kaasunjalostusyksikötkin perustettiin sorapedille asennettujen betonipalkkien päälle. Jalostuskontin sähkönsyöttö toteutettiin laitosmuuntamolta asti maahan kaivettuja putkia pitkin. Kaasunjalostustilan rakentamiseen käytettiin 5 kuukauden aikana 78 työvuoraa. Kuvassa 12 kaasunjalostustilaa nostetaan asennuspaikkaansa.

Kuva 12 Kaasunjalostuskontti asennettiin paikoilleen kahden autonosturin avulla.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### 7.4.9 Nestelannoitesäiliö

Kaasuntuotannosta hyödyntämättä jäävä lietejäämä kuivataan linkoamalla. Linkoamisessa erotettu neste pumpataan muovikankaiseen säiliöön. Säiliö on tilavuudeltaan 3000 m<sup>3</sup> äärimittojen ollessa 24 m x 42 m. Säiliön täyttö ja tyhjennys tapahtuu säiliön keskikohtaan maahan kaivetun muoviputken kautta. Säiliön perustus on louheen päälle tiivistetty sora ja päällimmäinen kerros on hienoa asennushiekkaa. Säiliön alle asennettiin salaojaputkisto. Varaston materiaalista johtuen perustukseen ei saa jäädä mitään terävää kohtaa. Säiliön sekoittimien anturat valettiin paikkoihinsa ja erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, etteivät valujen kulmat ole liian terävästi esillä. Pengerrytyyn varastoaltaaseen levitettiin varastosäiliö rullaamalla se auki kuljetusalustastaan. Erityistä tarkkuutta vaati kuljetusalustan sijoittaminen ja suuntaaminen niin, että varastosäiliö on oikeassa asennossa altaan pengerryksien sisällä. Säiliön levityksen jälkeen se ankkuroitiin reunoiltaan ja liitettiin pohjalle kaivettuun täyttö-/tyhjennysputkeen. Viimeiseksi nestelannoitesäiliöön asennettiin kaksi sähkötoimista lapasekoitinta. Nestelannoitesäiliön rakentamiseen käytettiin 7 kuukauden aikana 71 työvuoroa. Seuraavassa kuvassa 13 nähdään varastosäiliö kuljetusalustallaan.

Kuva 13. Nestelannoitesäiliön asennuksessa oli auki rullauksen aloituspaikka tarkkaan mitattava.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### 7.4.10 Sähkömuuntamo

Biokaasulaitoksen energian tarve toteutettiin 20 kV varmistetulla sähkönsyötöllä. Viereisellä tontilla sijaitsevan sähköaseman ansiosta kaapeleita jouduttiin kaivamaan maahan vain noin 200 metrin matka. Tonttimuuntamo toimitettiin valmiiksi kalustettuna ja asennettiin sorapedille. Haasteeksi muuntamolla osoittautui sen sijainti tontilla. Turvaetäisyysvaatimus rakennuksista siirsi sen moottoritien E75 suoja-alueelle. Poikkeamalle saatiin kuitenkin lupa ELY-keskukselta. Yhtenä syynä luvalla oli lähes 10 metrin korkeusero muuntamon ja moottoritien välillä. Muuntamoon tulevat ja lähtevät sähkökaapelit toteutettiin kaikki maahan upotettuina. Muuntamon rakentamiseen käytettiin 1 kuukauden aikana 24 työvuoroa.

#### **7.4.11 Prosessiputkiston valmistus**

Biokaasulaitoksen kaikki tuotanto perustuu materiaalin siirtoon putkessa. Prosessiputkia laitokseen rakennettiin yli kilometri. Erilaisia venttiilejä putkistoon on sijoitettu noin sata. Pienimmät putkikoot olivat DN20 ja suurimmat olivat DN300. Kaikki prosessiputket ovat materiaaliltaan haponkestävää ruostumatonta terästä EN 1.4404. Suunnittelun aikataulusta johtuen prosessiputkiston esivalmistusta ei pystytty toteuttamaan konepajalla vaan kaikki putket valmistettiin työmaalla. Riittävä puhtaustaso ja työskentelytilat hitsaukseen aiheutti pohdintaa työmaalla, mutta ylipääsemättömiä vaikeuksia ei ilmennyt. Ulkona olevat prosessiputket eristettiin ja varustettiin saattolämmityksellä. Ulkona sijaitsevia putkia oli 650 metriä. Eristysurakka tehtiin heinäkuussa kun kaikki putket olivat valmiina. Prosessiputkiston rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 552 työvuoroa. Eristäminen ja saattolämmityksien asentaminen vei kuukauden aikana 23 työvuoroa.

#### **7.4.12 Autovaaka**

Biokaasulaitokselle tulevat ja sieltä lähtevät kuormat punnitaan. Autovaaka rakennettiin tulotien varteen hieman portin ulkopuolelle. Maan huonon kantavuuden takia vaa'an perustukset jouduttiin paaluttamaan. Paalutuksen jälkeen valettiin vaa'an anturat ja varsinaiset pedit vaa'an jaloille tehtiin jälkivaluna. Tarkistusmittausten jälkeen teräsbetonirunkoiset vaakaelementit tuotiin työmaalle ja nostettiin autonosturin avulla paikoilleen. Vaa'an sähköistys ja laitoksen automaation liittäminen toteutettiin maakaapeleiden avulla. Autovaa'an rakentamiseen käytettiin 6 kuukauden aikana 35 työvuoroa. Seuraavassa kuvassa 14 näkyy autovaa'an lohkot perustuksien päälle asennettuina.

Kuva 14. Autovaaka asennettiin paaluperusteisten laattojen päälle.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### 7.4.13 Soihutupoltin

Soihutupolttimella poltetaan laitoksen tuottama kaasu jota ei voida muuten hyödyntää. Syinä soihutupoltolle voi olla laiterikko, huoltotauko tai liian suuri kaasuntuotto. Soihutupoltin perustettiin louheen päälle tiivistetylle sorapatjalle. Maanhuonon kantavuuden takia perustus stabilisoitiin kolmella paalulla. Teräsbetonilaattaan soihtu ankkuroitiin pulttikiinnityksellä. Prosessista soihdulle asennettiin kaasuputki ja automaation tarvitsemat sähköistyksset sekä instrumentit. Soihutupolttimen paikan rakentaminen ja asentaminen vei kolmen kuukauden aikana viisi työvuoroa.

Kuva 15. Ylijäämäkaasun soihstupoltin paaluperusteisella laatalla.

Kuva Jarkko Koivula, 2020



#### **7.4.14 Aitaurakka**

Lain mukaan biokaasulaitos pitää suojata asiattomilta kävijöiltä aidalla (Edita publishing Oy, 2005, s. §16). Aitamateriaaliksi on määrätty alumiini. Aidan minimikorkeus on kaksi metriä. Aidan kokonaispituus oli 550 metriä. Kulku alueelle järjestettiin yhden kulkuoven ja sähköohjatun portin kautta. Aitaurakan rakentamiseen käytettiin 1 kuukauden aikana 22 työvuoroa.

#### **7.4.15 Prosessilaitteet**

Biokaasulaitoksen prosessilaitetekanta muodostuu erilaisista pumpuista, sekoittimista ja lämmönvaihtimista sekä erityistarkoituksiin rakennetuista materiaalinkäsittelylaitteista.

Erityislaitteita ovat raaka-aineen murskaamiseen tarkoitetut myllyt, materiaalien erotteluun tarkoitetut laitteet, veden erotuslingot ja nostimet. Kevyimmät laitteet painoivat muutamia kiloja kun taas painavin yksittäinen laite oli yli 10 000 kg. Rakentamisessa piti ottaa huomioon laitteiden sijainnit niin, ettei asennusjärjestyksessä tehty vääriä aikatauluratkaisuja. Prosessilaitteiden asennuksiin käytettiin 4 kuukauden aikana 120 työvuoroa.

#### **7.4.16 SIA-urakka**

Tässä työssä tarkastelemani biokaasulaitos on toteutettu niin, että se voi toimia täysin automaattisesti viikonlopun yli. Normaali päivittäinen prosessin ohjaus suoritetaan väyläohjatulla automaatiolla. Valvomon ohella automaatioon liittyvä tekniikka on keskittynyt laitoksen sähköpääkeskukseen, jossa sijaitsevat pumppujen ja moottorien ohjauksen tekevät yli 50 taajuusmuuttajaa. Rakentamisen osalta SIA-urakka edellytti lähes ainoastaan kaapeleiden kulkuteiden valmistamisen. Sisätiloissa johdot asennettiin kaapelihyllyille ja ulkona maahan kaivettuihin suojaputkiin. Sähkö- automaatiojärjestelmän rakentamiseen työmaalla käytettiin 6 kuukauden aikana 86 työvuoroa.

#### **7.4.17 LVI-urakka**

LVI-järjestelmä on tärkeä tekijä erityisesti biokaasulaitoksessa, jossa käsitellään elintarvikejätettä. Huono ilmanvaihto aiheuttaa hajuhaittoja sekä laitoksen sisätiloissa että ulkona. Ulos pääsevät hajut havaitaan myös naapurustossa ja ne aiheuttavat valituksia hajupäästöistä. Rakentamisaikana haasteita toi erityisesti ilmaston ja sähköasennusten yhteensovittaminen. Useissa tapauksissa kumpikin aliurakotisija oli valinnut saman reitin asennukselleen. Työmaakokouksien vakioaihe olikin näiden kahden työvaiheiden sovittaminen toisiinsa. LVI-järjestelmien rakentamiseen käytettiin 5 kuukauden aikana 92 työvuoroa.

Kokonaisuutena Mäntsälän biokaasulaitoksen rakennusurakka kesti kesäkuusta 2019 syyskuuhun 2020 eli 16 kuukautta. Karkeasti jaoteltuna maarakennustyöt kestivät 12

kuukautta, kesäkuusta syyskuuhun valmisteltiin pohjatyöt ja tehtiin louhinnat. Syyskuusta maaliskuulle rakennettiin maanalaiset putkistot ja tehtiin rakennekerrokset. Huhti- ja toukokuussa viimeisteltiin pintarakenteet. Rakennusten tekeminen aloitettiin säiliöistä syyskuussa ja kaikki rakennukset olivat säältä suojassa helmikuussa. Helmikuussa myös aloitettiin talotekninen rakentaminen, joka kesti kesäkuulle. Prosessikalusteiden rakentaminen ja asennustyöt aloitettiin tammikuussa ja ne saatiin valmiiksi toukokuussa. Viimeisimmät rakentamiseen liittyvät työt olivat ilmassa olevien putkistojen eristystyöt, jotka tehtiin heinä-elokuussa 2020.

Biokaasulaitoksen kaasuntuotantoa aloitettiin käynnistämään huhtikuussa 2020 rakennustöiden ollessa vielä kesken. Kesällä 2020 biokaasulaitoksen tuotanto alkoi hitaasti käynnistyä ja syyskuussa rakennustöiden loppuessa laitos tuotti biokaasua.

Liitteenä olevan työvuorotaulukon mukaan työvuoroja rakennusprojektiin käytettiin yli 2300. Työpäiviä meni lähes 900 ja keskimääräinen työryhmän koko oli 2,7 työmiestä.

## **8 Pohdinta**

Alkuperäisessä suunnitelmassa tarkoitukseni oli käsitellä useamman biokaasulaitoksen rakentamisaikatauluja. Suunnitelmaa täytyi muuttaa koska muista laitoksista ei löytynyt työmaapäiväkirjoja, valokuvia tai muita dokumentteja joista olisi riittävän luotettavasti saanut kerättyä aineistoa. Kerätty aineisto on taltioitu taulukkolaskentaohjelmaan (Liite 1), josta voi varsin selkeästi nähdä kaikkien rakentamisen osien ajan- ja resurssien käytön. Johtopäätöksinä rakentamisprojektin sujumisesta esiin nousi riittävien resurssien varaaminen erityisesti suunnitteluun. Suunnittelun riittävän aikainen aloittaminen helpottaa aikataulun toteutumista ja päällekkäisyyksien välttämistä työmaalla. Tässä työssä tarkasteltu rakennusprojekti eli melko lailla kädestä suuhun suunnitelmien kanssa. Haastavat lähtökohdat projektille johtuivat mm. projektin alussa mukana olleen KVR-urakoitsijan toiminnan päättymisestä konkurssiin ennen varsinaisen rakentamisen aloittamista. Monessa tapauksessa biokaasulaitoksen rakentamisprojekti saa valtiolta avustusta, joka määrittää aikataulua. Näin oli myös tässä työssä tarkastelemassani tapauksessa. Syitä projektin aikana tulleille aikataulupoikkeamille olivat viivästykset muun muassa ministeriön avustuspäätöksissä. Myönteisen päätöksen viimein tullessa ei valmistumisaikataulun vaatimuksissa ollut kuitenkaan huomioitu edellä mainittua viivästystä.

Mäntsälän rakennusviranomaisten osalta projekti sujui erittäin hyvin. Rakennusvalvonta antoi neuvoja kysyttäessä ja oli hyvin joustava myös katselmuksien osalta.

Valmistusvaiheessa tehdyt katselmuksot poikkesivat totutuista, koska esimerkiksi Keski-Uudenmaan pelastuslaitos oli tehnyt koronan takia päätöksen, että se ei tullut paikalle tekemään katselmusta, vaan kaikki sille kuuluvat katselmuksot toteutettiin dokumenttikatselmuksina.

Työmaan sujuminen hyvin edellyttää myös aliurakoitsijoiden toimivaa yhteistyötä ja ammattinsa osaavia tekijöitä. Tässä työssä tarkastelemallani rakennustyömaalla toimi parikymmentä aliurakoitsijaa. Työntekijöitä työmaalla kävi kaiken kaikkiaan lähes 150 henkilöä. Yhtä aikaa heitä oli enimmillään 50-60.

Työmaan sujumisen osalta huomioitava tekijä ovat erilaiset tuotannon kapeikot. Tässä esitetyllä työmaalla pahimmat kapeikot ilmenivät sisärakennusvaiheessa. Kun seinät ja katot olivat paikoillaan niin sähkö-, IV- ja prosessiasennusmiehet halusivat olla kaikki yhtä aikaa paikalla. Edellä mainittujen lisäksi tulivat vielä koneiden ja laitteiden asentajat, jolloin oli tärkeä pitää tarkkaa aikataulutusta siitä kuka milloinkin voi olla työmaalla.

Seurantataulukosta voi nähdä, että pahimmat ruuhkat työmaalla olivat helmikuusta huhtikuuhun.

Tämän työmaan työntekijäresurssien vertaaminen Rakennusosien kustannuksia kirjan esimerkkeihin ei ole oikein miltään osin relevanttia. Tällä työmaalla rakennusten perustukset tehtiin pilarianturoilla, joihin asennettiin kantavat teräspilarit. Varsinaisia perustuksia ei valettu vaan lattiavalu ulotettiin maahan upotetun sandwich-elementin reunaan. Parin vuoden käytön jälkeen laitoksella on todettu haittaeläinten käyttäneen hyväksi perustuksien puuttumista. Kulcutunneleita on ollut helppo kaivaa kun ei ole ollut perustuksien betonia esteenä. Alapohjien osalta vastaanotto- ja prosessirakennuksen pohjalaatta muistuttaa läheisesti ROK-kirjassa (Rakennustieto Oy, 2019) alapohjaa no 401, tosin ilman muovimattoa. ROK-kirjassa ohjearvona tälle on annettu 0,69 tth/m<sup>2</sup>(matto ja tasoite poistettuina), omien tulosten mukaan sain arvoksi 0,544 tth/m<sup>2</sup>. Valvomon osalta alapohja on kuivien tilojen osalta 402 ja märkätilojen osalta 403. ROK-kirjan ohjearvoina on 0,69 tth ja märkätilojen osalta 1,85 tth. Omissa muistiinpanoissa en eritellyt näitä, mutta koko valvomon osalta alapohja vaati 0,58 tth/m<sup>2</sup>. Yhteenvetona voi todeta että omien muistiinpanojen tarkkuus on varsin hyvin suuntaa antavaa. Eroja voivat aiheuttaa työtapojen erilaisuus ja mahdollisuus käyttää ison työmaan antamia mahdollisuuksia. Jo parin työmiehen lainaaminen päiväksi

muista töistä muuttaa tulosta mutta sitä ei välttämättä olla huomioitu suoritteiden laskennassa.

Tässä työssä tarkasteltu laitos pystyy käsittelemään noin 20 000 tonnia biojätettä vuodessa. Eri kapasiteettisten laitosten rakentamisaikojen vertailussa tässä työssä saatuja tuloksia voidaan käyttää joidenkin rakennusosien osalta suoraan. Tällaisia ovat esimerkiksi valvomo, jonka koko ei riipu laitoksen kapasiteetista. Huomattavan eri kokoisten rakennusosien kohdalla pitää käyttää kerrointa rakennusaikojen arvioimiseen. Tällaisia rakentamisen osia taas ovat säiliöt ja altaat.

Työnä tämä oli mielenkiintoinen tarkastelu tehdystä projektista. Itse olin työmaan työmaapäällikkönä koko rakentamisajan. Tätä raporttia tehdessä analysoin rakentamisprojektia tarkemmin kuin muuten olisi tullut tehtyä. Erityisen mielenkiintoista oli huomata todelliset rakentamiseen käytetyt työvuorot kun työmaan aikana monet rakennukset ja niiden osat valmistuivat samanaikaisesti eikä yksittäisten rakennusosien nettovalmistumisaika selvinnyt helposti.

## Lähteet

Bioste Oy. (2019). Biokaasu. Haettu 25. 5 2021 osoitteesta

<http://bioste.fi/bioenergia/biokaasu/>

Edita publishing Oy. (3. 6 2005). Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn

turvallisuudesta. *Finlex 3.6.2005/390*. Helsinki, Uusimaa, Suomi. Haettu 16. 3 2023 osoitteesta

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=tuotantolaitos%20#L2P16>

ELY-keskus. (27. Joulukuu 2022). *Maantien suoja-alueelle rakentaminen*. Noudettu

osoitteesta Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen sivusto: <https://www.ely-keskus.fi/suoja-ja-nakemaalueelle-rakentaminen>

Finvac ry. (28. 1 2020). Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa.

Helsinki. Haettu 30. 3 2022 osoitteesta

[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa\\_2019b-](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa)

[D9B578DC\\_66D4\\_44BC\\_B1AE\\_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa)

Gasgrid. (4. 5 2022). *Markkinadatakatsaus\_Market-data-review\_Q1\_2022.pdf*. Haettu 16. 3

2023 osoitteesta [https://gasgrid.fi/wp-](https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Markkinadatakatsaus_Market-data-review_Q1_2022.pdf)

[content/uploads/Markkinadatakatsaus\\_Market-data-review\\_Q1\\_2022.pdf](https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Markkinadatakatsaus_Market-data-review_Q1_2022.pdf)

Gasum Oy. (2021). Miten biokaasua tuotetaan? Helsinki, Uusimaa, Suomi. Haettu 27.

syyskuu 2021 osoitteesta

<http://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan/>

Kymäläinen, M. j. (2015). Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden

hyödyntäminen. Hämeenlinna. Haettu 27. syyskuu 2021 osoitteesta

<https://www.theseus.fi/handle/10024/104180>

Latvala, M. (15. 5 2009). Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Biokaasun tuotanto

suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki. Haettu 24. 5 2021 osoitteesta

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/37998>

Motiva Oy. (Helmikuu 2013). Biokaasun tuotanto maatilalla. Helsinki. Noudettu osoitteesta

[https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf)

Mutikainen, M. S. (10. 5 2016). Biokaasusta kasvua. Noudettu osoitteesta

<https://media.sitra.fi/2017/02/27175150/Selvityksia111-2.pdf>

Rakennustieto Oy. (2019). *Rakennusosien kustannuksia 2019*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Haettu 30. Joulukuu 2022

Ruokavirasto. (2019). Lannoitealan toiminta. Haettu 31. toukokuu 2021 osoitteesta

<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja->

[lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitealan toiminta/](https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitealan_toiminta/)

Ruokavirasto, Kasvit . (27. 1 2023). *Kasvilannoitteet*. Haettu 16. 3 2023 osoitteesta

<https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/>

Suomen biovoima Oy. (1. 6 2019). *Biokaasulaitos*. Noudettu osoitteesta

<https://biovoima.com/ratkaisut/biokaasulaitos?gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPArisACAEC>

[\\_UH8XrMmTNcqQcjN75FgFpkR2Iw0V-](https://biovoima.com/ratkaisut/biokaasulaitos?gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPArisACAEC_UH8XrMmTNcqQcjN75FgFpkR2Iw0V-)

[cSL8PRPGTpkYumYlswg7b1agaAhSOEALw\\_wcB](https://biovoima.com/ratkaisut/biokaasulaitos?gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPArisACAEC_UH8XrMmTNcqQcjN75FgFpkR2Iw0V-cSL8PRPGTpkYumYlswg7b1agaAhSOEALw_wcB)

Watrec Oy. (10. 12 2020). *Watrec*. Noudettu osoitteesta Esite biokaasulaitoksen

toiminnasta: <https://watrec.fi/esite-biokaasulaitoksen-toiminnasta/>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §. (27. Kesäkuu § 118). Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

Helsinki, Suomi. Haettu 14. helmikuu 2022 osoitteesta

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

## Liite 1: Rakentamisaikataulu kohteittain

BKL Mäntsälä		2019										2020														
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK		
<b>Maanrakennusurakka</b>	<b>2 ha</b>	194																			533					
Pintamaiden poisto, massojen siirto	25000 m <sup>3</sup>	60	20	20	20														3	180		120	208,3	26,0	42,4	
Tulotie	2000 +2000 m <sup>3</sup>	15	4						4					7					2	30						
Louhinta	9200 m <sup>3</sup>	17		10	5							2							2	34			270,6	33,8		
Louheen siirto	3000 m <sup>3</sup>	20			10	10													2	40			75,0	9,4		
Kantava kerros, sis maanal.putkisto	9000 m <sup>3</sup>	60			10	20	20	10											3	180			50,0	6,3		
Vastaanottoaltaan kaivaminen	3000 m <sup>3</sup>	6				6													2	12			250,0	31,3		
Paalutus	200 m	3					2	1											2	6			33,3	4,2	9	
Pintojen valmistus	20000 m <sup>2</sup>	8											8						2	16			1250,0	156,3		
Asfaltointi	9000 m <sup>2</sup>	5													5				7	35			257,1	32,1	20	
<b>Vastaanottorakennus</b>	<b>500</b>	53																				186				
Vastaanottoaltaan valu	165 m <sup>3</sup>	25				7	18												4	100			1,7	0,2		
Maanalaiset putket	130 m	4							4										2	8			16,3	2,0		
Pohjan teko	500 m <sup>2</sup>	6							4	2									2	12			41,7	5,2		
Rungon pystytys	500 m	5							5										4	20			25,0	3,1	2,95	
Seinät ja katto asennus	1200 m <sup>2</sup>	4							4										4	16			75,0	9,4	3,33	
Lattian valu	125 m <sup>3</sup>	3								3									6	18			6,9	0,9		
Sisävalmistus		6									2	2	2						2	12			0,0	0,0		
<b>Prosessirakennus</b>	<b>500</b>	0																				74				
Maanalaiset putket	90 m	0																		0						
Pohjat	500 m <sup>2</sup>	4							4										2	8			62,5	7,8		
Rungon pystytys	500 m	5							5										4	20			25,0	3,1	2,95	
Seinät ja katto asennus	1200 m <sup>2</sup>	4							4										4	16			75,0	9,4	3,33	
Lattian valu	125 m <sup>3</sup>	5								5									6	30			4,2	0,5		
Sisävalmistus		0																		0						

BKL Mäntsälä		2019							2020															
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmiokuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK
<b>Linkorakennus</b>	<b>80</b>	15					2	2													38			
Maanalaiset putket	70 m	4					2	2											2	8		8,8	1,1	
Pohjat	50 m <sup>2</sup>	3							3										4	12		4,2	0,5	2,11
1 krs runko (OL)	175 m <sup>2</sup>	3								3									4	12		14,6	1,8	
2 krs runko ja kate (OL, TP, XPS-elem)	130 m <sup>2</sup>	3									3									0				
Nousuportaatt	8 m	2										2							3	6		1,3	0,2	
<b>Valvomo</b>	<b>110 m<sup>2</sup></b>	27																			63			
Maanalaiset putket	50 m	4						4											2	8		6,3	0,8	
Pohjat	130 m <sup>2</sup>	4						4											2	8		16,3	2,0	2,11
Runko	120 m	5						5											3	15		8,0	1,0	2,95
Seinät ja katto	280 m <sup>2</sup>	4							4										3	12		23,3	2,9	3,33
Sisävalmistus	110 m <sup>2</sup>	10							5	5									2	20		5,5	0,7	
<b>Reaktorisäiliö</b>	<b>3000 m<sup>3</sup></b>	31		3			4	10	4		5	5									83			
Maanalaiset putket	12 m	2			2														2	4		3,0	0,4	
Pohja ja laatan valu	165 m <sup>2</sup>	4				4													4	16		10,3	1,3	0,7
Säiliörunko	980 m <sup>2</sup>	6						6											3	18		54,4	6,8	
Eristäminen ja kuori	820 m <sup>2</sup>	10									4	4	2						2	20		41,0	5,1	
Sekoittimen asennus	1 kpl	2							2										2	4		0,3	0,0	
Instrumenttien asennus	20 kpl	5								5									2	10		2,0	0,3	
Painekoe	1 kpl	2											2						1	2		0,5	0,1	
Nousuportaikko ja kulkusillat	30 m	3							3										3	9		3,3	0,4	

BKL Mäntsälä		2019												2020														
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK				
<b>Jälkimädätesäiliö</b>	<b>800 m<sup>3</sup></b>	28																			68							
Maanalaiset putket	12 m	2		2															2	4		3,0	0,4					
Pohja ja laatan valu	100 m <sup>2</sup>	4			4														4	16		6,3	0,8	0,7				
Säiliörunko	620 m <sup>2</sup>	4				4													3	12		51,7	6,5					
Eristäminen ja kuori	510 m <sup>2</sup>	7									4	3							2	14		36,4	4,6					
Sekoittimen asennus	1 kpl	4						2	1	1									2	8		0,1	0,0					
Instrumenttien asennus	15 kpl	3									3								2	6		2,5	0,3					
Painekoe	1 kpl	2									2								1	2		0,5	0,1					
Nousuportaikko ja kulkusillat	10 m	2						2											3	6		1,7	0,2					
<b>Hydrolyysisäiliö</b>	<b>800 m<sup>3</sup></b>	26																			64							
Maanalaiset putket	12 m	2		2															2	4		3,0	0,4					
Pohja ja laatan valu	100 m <sup>2</sup>	4			4														3	12		8,3	1,0	0,7				
Säiliörunko	620 m <sup>2</sup>	4				4													3	12		51,7	6,5					
Eristäminen ja kuori	510 m <sup>2</sup>	7									4	3							2	14		36,4	4,6					
Sekoittimen asennus	1 kpl	4						2	1	1									2	8		0,1	0,0					
Instrumenttien asennus	20 kpl	3									3								2	6		3,3	0,4					
Painekoe	1 kpl	2									2								1	2		0,5	0,1					
Nousuportaikko ja kulkusillat	30 m	2						2											3	6		5,0	0,6					
<b>Hygienisointisäiliöt</b>	<b>3 x 25 m<sup>3</sup></b>	20																			42							
Pohja ja laatan valu	50 m <sup>2</sup>	4							1	3									2	8		6,3	0,8	0,7				
Säiliöiden asennus	3 kpl	2								2									3	6		0,5	0,1					
Instrumentointi ja putkiasennus	45 kpl	12									5	5	2						2	24		1,9	0,2					
Eristäminen	40 m	2															2		2	4		10,0	1,3					

BKL Mäntsälä			2019							2020														
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmiokuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK
<b>Kuumavesisäiliöt</b>	2 x25	m <sup>3</sup>	17																		35			
Pohja ja laatan valu	30 m <sup>2</sup>	3							1	2									2	6		5,0	0,6	0,7
Säiliöiden asennus	2 kpl	1								1									3	3		0,7	0,1	
Maanalaiset putket	35 m	4										4							2	8		4,4	0,5	
Instrumentointi ja putkiasennus	30 kpl	7										3	3	1					2	14		2,1	0,3	
Eristäminen	40 m	2															2		2	4		10,0	1,3	
<b>Lämpölaitos</b>			33																		66			
Pohjan teko	25 m <sup>2</sup>	2							2										2	4		6,3	0,8	
Laatan valu	4 kpl	1							1										2	2		2,0	0,3	
Maanalaiset putket	50 m	5										5							2	10		5,0	0,6	
Asennus paikalleen		10							2	4	4								2	20		0,0	0,0	
Putkien asennus ja liitäntä	4 kpl	2										2							2	4		1,0	0,1	
Koekäyttö		13								2	4	5	2						2	26		0,0	0,0	
<b>Kaasuvarasto</b>			11																		27			
Maanalaiset putket	10 m	2								2									2	4		2,5	0,3	
Pohja ja laatan valu	120 m <sup>2</sup>	4												4					2	8		15,0	1,9	0,7
Säiliön asennus	1800 m <sup>3</sup>	5												5					3	15		120,0	15,0	
<b>Kaasunkäsittelytila</b>			10																		19			
Pohjan teko	15 m <sup>2</sup>	1								1									2	2		7,5	0,9	
Laatan valu	6 m <sup>2</sup>	1								1									1	1		6,0	0,8	
Asennus paikalleen		5										3	2						2	10		0,0	0,0	
Putkien asennus ja liitäntä	20 m	3											3						2	6		3,3	0,4	

BKL Mäntsälä		2019										2020												
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmiokuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK
<b>Kaasunjalostustila</b>		43																			78			
Pohjan teko		1								1									2	2		0,0	0,0	
Laatan valu	12 m <sup>2</sup>	1								1									1	1		12,0	1,5	
Asennus paikalleen		30									10	10	5	5					2	60		0,0	0,0	
Putkien asennus ja liitäntä	20 m	4										4							2	8		2,5	0,3	
Koekäyttö		7												2	5				1	7		0,0	0,0	
<b>Nestelannoitesäiliö</b>	3000 m <sup>3</sup>	29																			71			
Maanalaiset putket	280 m	5				2	3												2	10		28,0	3,5	
Pohjan teko	1000 m <sup>2</sup>	13				2	4	5			2								2	26		38,5	4,8	
Säiliön levitys	3000 m <sup>3</sup>	1										1							10	10		300,0	37,5	
Säiliön asennus	3000 m <sup>3</sup>	5												5					3	15		200,0	25,0	
Instrumentointi ja putkiasennus		5												3	2				2	10		0,0	0,0	
<b>Muuntamo</b>		12																			24			
Pohjan teko	24 m <sup>2</sup>	2								2									2	4		6,0	0,8	
Maanalaiset putket		6								6									2	12		0,0	0,0	
KytKentä		2								2									2	4		0,0	0,0	
Käyttöönotto		2								2									2	4		0,0	0,0	

BKL Mäntsälä			2019								2020															
Tarkasteltavat kohteet	Määrä (m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , kpl)	Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmiokuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työryhmän koko	Työvuorot	Työvuorot yhteensä	Saanto /tv	saanto/h	ROK		
<b>Prosessiputkiston valmistus</b>		132																				552				
Vastaanottoallas	25 m	6										2	2	2						2	12			2,1	0,3	
Prosessirakennus	280 m	40									20	20							7	280			1,0	0,1		
Putkisiltojen asennus	12 kpl	6										3	3						2	12			1,0	0,1		
Reaktorisäiliö syöttöputkisto	170 m	15											15						4	60			2,8	0,4		
Eristäminen	170 m	3																3	3	9			18,9	2,4		
Kaasuputkisto, reaktori-kaasuvarasto	60 m	20												20					3	60			1,0	0,1		
Eristäminen	60 m	2																2	2	4			15,0	1,9		
Kaasuputkisto, varasto-jakeluverkko	70 m	15													15				3	45			1,6	0,2		
Eristäminen	70 m	1																1	2	2			35,0	4,4		
Jälkimädätesäiliön putkisto	60 m	10											10						3	30			2,0	0,3		
Eristäminen	60 m	2																2	2	4			15,0	1,9		
Hydrolyysisäiliön putkisto	60 m	10											10						3	30			2,0	0,3		
Eristäminen	60 m	2																2	2	4			15,0	1,9		
<b>Autovaaka</b>		13																				35				
Pohjan rakennus	100 m <sup>2</sup>	3					2	1												6			16,7	2,1		
Laatan valu	25 m <sup>3</sup>	3									3								9			2,8	0,3			
Vaaka-asennus	2 kpl	2										2							10			0,2	0,0			
Käyttöönotto	1 kpl	5											3	2					10			0,1	0,0			
<b>Aitaurakka</b>		8																				22				
Aidan rakentaminen	500 m	6																	3	18			27,8	3,5	1,63	
Portin asennus	1 kpl	2																	2	4			0,3	0,0		
		0																								
		0																								
<b>Prosessilaitteet</b>		30									2	12	10	6						4	120			0,0	0,0	
SIA-urakka		43									4	15	10	8	4	2				2	86			0,0	0,0	
LVI-urakka		46									5	15	12	8	6					2	92			0,0	0,0	
																				2378						

## Työsuoritteiden määrä kuukausittain

			Kesto (tp)	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Työpäivät	Työvuorot	
Tarkasteltavat kohteet																						
Kumulatiiviset työpäivät				24	33	51	59	63	48	54	42	116	136	118	70	42	0	14	0	870	2346	