

Shokhan W. Burhan
Juha Sami O. Markkula

PATORAKENTEIDEN VAIHTOEHTO- JEN TARKASTELU JA MALLINNUS

Opinnäytetyö
insinööri AMK

Kesäkuu 2016



ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty työnantajamme Sito Oy:n palveluksessa Espoossa. Työn ohjaajina ovat toimineet DI Jussi Kokkinen Sito Oy:stä ja lehtori Juha Karvonen sekä lehtori Jani Pitkänen Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta.

Haluamme kiittää Jussi Kokkista ja Juha Karvosta sekä Jani Pitkästä saamistamme neuvoista ja ohjeista. Erityisesti haluamme kiittää esimiestämme DI Pekka Manteretta, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen. Lisäksi kiitämme Sito Oy:n henkilökuntaa hyvästä työilmapiiristä sekä hyvistä neuvoista.

Espoossa 30.5.2016



Shokhan W. Burhan



Juha Sami O. Markkula

Tekijät	Tutkinto	Aika
Shokhan W. Burhan Juha Sami O. Markkula	Insinööri (AMK)	Kesäkuu 2016
Opinnäytetyön nimi Patorakenteiden vaihtoehtojen tarkastelu ja mallinnus		72 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja Sito Oy		
Ohjaaja Lehtori Juha Karvonen Lehtori Jani Pitkänen DI Jussi Kokkinen		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan patorakenteiden vaihtoehtoja Hanhikivi 1-ydinvoimalaitoksen satamaan. Opinnäytetyöhön kuuluu myös patorakenteen rakennesuunnittelu sekä 3D-mallinnus. Patorakenne ja satama ovat osa Fennovoima Oy:n ydinvoimalahanketta, jossa Fennovoima rakentaa Hanhikivi 1-ydinvoimalaitoksen Pohjois-Pohjanmaalle Pyhäjoelle. Ydinvoimalaitoksen laitosopimuksen osapuolina ovat Fennovoima Oy ja RAOS Project Oy, joka kuuluu venäläiseen Rosatom-konserniin. Fennovoima on laitoksen tilaaja ja RAOS Project Oy toimii laitostoimittajana. Pääurakoitsijana toimii Titan-2, joka on venäläinen rakennusalan yritys.</p> <p>Ydinvoimalaitoksen satamaan tulevan patorakenteen rakennesuunnittelun toteutti suunnittelutoimisto Sito Oy. Rakennesuunnittelusta vastasivat opinnäytetyön tekijät. Sito toteutti myös sataman geosuunnittelun sekä osan sataman rakenteiden suunnittelusta. Satama tulee palvelemaan voimalaitoksen meritse tapahtuvaa huoltoliikennettä. Satama-altaan kautta voimalaitos tulee ottamaan myös jäähdytysvetensä, jota se tarvitsee ydinreaktion jäähdyttämiseen. Satama tulee koostumaan aallonmurtajista, satama-altaasta, laiturialueesta sekä padosta, joka toimii satama-altaan sulkurakenteena ja varajärjestelmänä. Patoon on suunniteltu kolme 12 metriä leveää virtausaukkoa, jotka voidaan tarvittaessa avata ja samalla varmistaa voimalaitoksen jäähdytysveden keskeyttämätön saanti. Virtausaukkojen yli on tarkoitus rakentaa siltakannet, jotka toimivat ajoyhteytenä satama-altaan läntiselle aallonmurtajalle.</p> <p>Patorakenteiden vaihtoehtojen tarkastelussa vertailtiin kolmea erilaista patorakennetta. Lähtökohtana suunnittelussa oli löytää satama-altaan patorakenteeksi rakennuspaikka ja olosuhteet huomioon ottaen soveltuva, toteutuskelpoinen ja toimiva patorakenne. Vertailun tuloksena parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui kaasuuneista ja settilankuista koostuva settipato. Valitusta patorakenteesta laadittiin rakennesuunnitelma, johon sisältyi muun muassa padon ja siihen kuuluvan siltakannen rakennelaskelmat, yleispiirustus, mitta- ja raudituspiirustukset, määrä- ja kustannusarviot sekä 3D-tietomalli.</p>		
Asiasanat Pato, rakennesuunnitelma, tietomallinnus		

<p>Authors Shokhan W. Burhan Juha Sami O. Markkula</p>	<p>Degree Bachelor of Engineer- ing</p>	<p>Time June 2016</p>
<p>Thesis Title Analysis and Modelling of Dam Structure Options</p>		<p>72 pages 4 pages of appendices</p>
<p>Commissioned by Sito Oy</p>		
<p>Supervisor Juha Karvonen, Senior Lecturer Jani Pitkänen, Senior Lecturer Jussi Kokkinen, M.Sc</p>		
<p>Abstract</p> <p>This thesis examines dam structure options for the harbor of Hanhikivi 1 nuclear power plant. The thesis also includes structural design of the dam and 3D-modelling of the structure. The dam structure and the harbor are a part of Fennovoima Oy's nuclear power plant project, where Fennovoima builds Hanhikivi 1 nuclear power plant in Pyhäjoki, the province of Pohjois-Pohjanmaa. Parties of the power plant contract are Fennovoima Oy and RAOS Project Oy, which is a part of Russian Rosatom-group. Fennovoima is the subscriber of the power plant and RAOS Project is the supplier. As a prime contractor operates Titan-2, which is a Russian construction company.</p> <p>A dam is constructed in the port of the nuclear power plant, and the structural design of the dam was made by engineering consultant Sito Oy. The authors of the thesis were in charge of the structural design. Sito also executed the harbor's geotechnical design and part of the structural design of the harbor's structures. The harbor will serve as a sea route for the maintenance transport of the power plant. Through the harbor the power plant will also take its cooling waters, which it needs to cool the nuclear reaction. The port will consist of breakwater, of a dock, of a quay area and of a dam, which serves as a harbor's gate structure and as a backup system. The dam will consist of three 12 metres wide channels closed by gates, which can be opened if necessary. This will ensure the continuous supply of cooling water for the power plant. Flow gates will be equipped with bridge decks, which will serve as a road connection to the western breakwater.</p> <p>In the analysis of the dam structure options, three dam structures were compared. The starting point of the planning was to find a suitable, viable and working dam structure to the harbor, taking the construction site and the circumstances into account. As a result of the analysis, a dam consisting of stop logs and caissons was chosen as the best option. A structural design was made for the chosen structure, which among other things included structural calculations for the dam structure and the bridge decks, general drawing, dimension and reinforcement drawings, estimations of quantities and quotations, and a 3D-model.</p>		
<p>Keywords Dam, structural design, building information modeling</p>		

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	PROJEKTIN ESITTELY.....	9
2.1	Yleistiedot hankkeesta.....	9
2.2	Satama ja patorakenne.....	10
2.3	Rakennuspaikka.....	11
3	YLEISTIETOA PADOISTA.....	14
3.1	Rakenteet ja patotyypit.....	15
3.1.1	Maapadot.....	17
3.1.2	Massiiviset betonipadot.....	18
3.1.3	Holvipadot.....	19
3.1.4	Ripapadot.....	20
3.1.5	Säännöstelypadot.....	21
3.2	Patojen sulkulaitteet.....	21
3.2.1	Settipato.....	23
3.2.2	Teräksiset tasoluukut.....	25
3.3	Kasuunirakenteet padoissa ja satamissa.....	25
4	PATORAKENTEIDEN VAIHTOEHTOJEN TARKASTELU.....	29
4.1	Kasuuneista ja settilankuista koostuva settipato.....	29
4.2	Kulmatukimuureista, penkereistä ja settipalkeista koostuva settipato.....	32
4.3	Tilapäisten työpatojen sisällä rakennettava betonipato.....	34
4.4	Rakenteen valinta.....	37
4.5	Valitun settipatorakenteen kuvaus.....	38
4.6	Pohjaolosuhteet ja perustaminen.....	40
5	PADON RAKENNESUUNNITTELU.....	42
5.1	Kuormitustapaukset ja stabiiliteettitarkastelut.....	44

5.2	Lähtötietojen käsittely, padon perustaminen sekä pohjaolosuhteet	47
5.3	Kasuunien mitoitus	49
5.4	Settipalkin mitoitus	55
5.5	Siltakannen mitoitus	57
5.6	Rauditusluetteloiden sekä määrä- ja kustannusarvioiden laadinta	61
6	PADON TIETOMALLINNUS TEKLA STRUCTURES-OHJELMALLA	63
7	VALMIIT SUUNNITELMAT	65
8	POHDINTA	67
	LÄHTEET	69
	KUVALÄHTEET	70

LIITTEET

Liite 1. Rakennelaskelmat, osat A, B, C ja D, 172 s.

Liite 2. Pato- ja siltarakenteen rakennepiirustukset, 14 kpl.

Liite 3. Pato- ja siltarakenteen rauditusluettelot, 9 s.

Liite 4. Tietomalliselostus, 4 s.

1 JOHDANTO

Fennovoima Oy rakennuttaa Pohjois-Pohjanmaalle Pyhäjoelle ydinvoimalaitoksen. Osana projektia meren rannalle rakennetaan satama, joka palvelee voimalaitoksen meritse tapahtuvaa huoltoliikennettä. Satama koostuu aallonmurtajista, satama-altaasta ja laiturista. Satama-altaan kaakkoiskulmaan rakennetaan pato, joka toimii satama-altaan sulkurakenteena ja varajärjestelmänä. Satama-altaan varsinainen virtausaukko on altaan luoteisnurkassa. Sito Oy laati vuonna 2012 alustavan suunnitelman padosta, joka sisälsi muun muassa patorakenteen yleispiirustuksen. Voimalaitoshankkeen pääurakoitsijana toimiva venäläinen Titan-2 valitsi Siton toteuttamaan myös padon rakennussuunnittelutehtävän. Suunnitelman oli määrä olla valmis keväällä 2016.

Sito Oy on suomalainen infra-alan suunnittelutoimisto, jonka palveluksessa on yli 500 työntekijää. Sito tarjoaa palveluja konsultoinnissa, suunnittelussa, kunnossapidossa, rakennuttamisessa ja tietopalveluissa. Palveluihin kuuluu mm. infran, liikenteen, logistiikan, maankäytön ja ympäristön suunnittelutehtävät sekä digitaaliset asiantuntijapalvelut. Sitolla on Suomessa seitsemän eri toimipistettä, joista pääkonttori sijaitsee Espoossa. Yritys jakaantuu useampaan eri osastoon, jotka vastaavat eri osaamisalueista.

Opinnäytetyön tekeminen tuli ajankohtaiseksi loppuvuodesta 2015, jolloin Sito Oy ehdotti patorakenteen rakennesuunnittelutehtävää opinnäytetyön aiheeksi. Aihe tarkentui myöhemmin patorakenteiden vaihtoehtojen tarkasteluksi sekä mallintamiseksi, sillä tietomallinnus oli osa suunnittelutehtävää. Satama-altaan geosuunnittelusta vastasi Sito Oy:n geosuunnitteluosasto, jolla on myös projektin vetovastuu Siton suunnitelmien osalta.

Patorakenteiden vaihtoehtojen vertailussa tarkasteltiin kolmea erilaista patorakennetta. Lähtökohtana patorakenteiden vertailulle oli tavoite löytää satama-altaaseen sopiva patorakenne, joka olisi toiminnan ja toteutuksen kannalta paras vaihtoehto. Suunnittelutehtävään kuului laatia valitusta patorakenteesta rakennesuunnitelma, johon sisältyivät muun muassa rakennelaskelmat, yleispiirustus, mitta- ja raudoituspiirustukset, määrä- ja kustannusarviot, raudoitusluettelot sekä 3D-tietomalli ja tietomalliseloste. Rakennelaskelmat käsittivät muun muassa padon stabiliteettitarkastelut sekä patorakenteen ja siltakansien rakenteellisen mitoituksen. Padon 3D-tietomalli laadittiin Tekla Structures-

ohjelmalla ja piirustuksien laadinnassa käytettiin AutoCAD-ohjelmaa. Rakenteet mitoitettiin Eurokoodien sekä Liikenneviraston soveltamisohjeiden mukaan. Suunnittelussa käytettiin myös Suomen Rakennusinsinöörin Liiton julkaisemia RIL-kirjasarjan julkaisuja.



Kuva 1. Pyhäjoen sijainti Suomen kartalla. (Fennovoima)

2 PROJEKTIN ESITTELY

2.1 Yleistiedot hankkeesta

Fennovoima Oy rakentaa Pohjois-Pohjanmaalle Pyhäjoelle ydinvoimalaitoksen. Fennovoiman Hanhikivi 1-ydinvoimalaitosyksikkö rakennetaan Hanhikiven niemelle meren rannalle. Voimalaitosyksikön lämpötehoksi tulee 3220 megawattia ja sähkötehoksi 1200 megawattia. Hanhikivi 1-ydinvoimalaitoksen laitossopimuksen osapuolet ovat Fennovoima ja RAOS Project Oy, joka kuuluu venäläiseen Rosatom-konserniin. Sovitun aikataulun mukaan voimala tuottaa sähköä vuonna 2024. Fennovoima käyttää rakentamaansa ydinvoimalaitosta energiantuotantoon omistajilleen, ja yksikön käyttöäksi on suunniteltu 60 vuotta. (Fennovoima 2016a.)

Rakennettavan ydinvoimalaitosyksikön laitostyyppi on Rosatomin 1200 megawatin AES-2006 painevesireaktori (Hanhikivi-yhteyshanke 2014). Voimalaitoksen infra- ja tukirakentaminen painottuu vuosille 2015-2018 (Fennovoima 2016c). Ydinvoimalaitosta ja sen rakentamista palvelevaa maaliikennettä varten rakennetaan uusi tie, joka johtaa voimalaitosalueelle valtatieltä nro 8. Tukirakentamiseen kuuluu muun muassa tuhannen hengen majoitusalueen rakentaminen voimalaitoksen läheisyyteen. Alueella työskentelevien henkilöiden tarpeisiin majoitusalueen läheisyyteen rakennetaan palvelukeskus. Alueelle rakennetaan lisäksi työpaikka-alue yrityksiä varten sekä vierailukeskus, joka tarjoaa informaatiota Hanhikiven alueesta ja ydinvoimalan rakennushankkeesta. (Hanhikivi-yhteyshanke 2014.) Voimalaitosalue on esitetty kuvissa 2 ja 3.

Voimalaitosalueelle Hanhikiven niemelle rakennetaan lisäksi laitosalueen kunnallistekniset järjestelmät sekä laitosalueen sähköistämiseen tarvittavat järjestelmät. Laitostoimittaja RAOS Project Oy:n vastuulle kuuluvat kaikki voimalaitoksen suunnitteluun, luvittamiseen, rakentamiseen, käyttöönottoon ja projektinhallintaan liittyvät toiminnot. Raos Projectin toimituslaajuuteen sisältyy myös merkittäviä maa- ja vesirakentamisen kokonaisuuksia, kuten jäähdytysvesitunnelin louhinta, meriveden otto- ja purkurakenteiden rakentaminen, satamalaiturin ja muiden vesirakenteiden rakentaminen, ruoppaamista sekä perustusten louhinta. Pääurakoitsijana toimii Titan-2, joka on venäläinen rakennusalan yritys. (Fennovoima 2016c.)

Voimalaitoksen länsipuolelle rakennetaan satama. Rannikolle rakennetaan lisäksi meriväylä, jäähdytysveden ottorakenne, jäähdytysveden varaottouoma sekä sen edellyttämät rakenteet. Koko satamahanketta varten tarvittavan vesilupahakemuksen laati Sito Oy vuonna 2013. (Aluehallintovirasto 2013.)



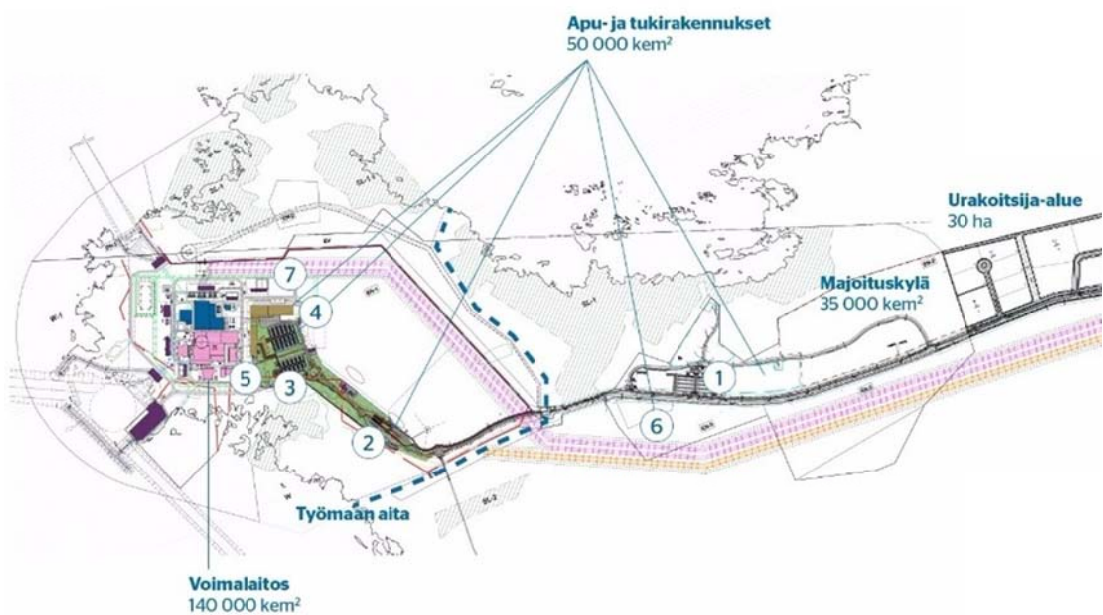
Kuva 2. Havainnekuva ydinvoimalaitos-alueesta. Kuvakulma on pohjoisesta päin ja satama näkyy kuvan oikeassa reunassa. (Fennovoima)

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto myönsi 10.7.2015 Fennovoima Oy:lle vesilain mukaiset luvat sataman ja jäähdytysveden ottorakenteiden rakentamiseen ja meriväylän ruoppaamiseen sekä hankkeisiin liittyvien ruoppausmaiden meriläjäytykseen. Ruoppaustyöt alueella aloitettiin vuonna 2015. (Aluehallintovirasto 2015.)

2.2 Satama ja patorakenne

Voimalaitoksen meriteitse tapahtuvaa huoltoliikennettä varten voimalaitoksen länsipuolelle rakennetaan satama. Satamaan kuuluvat aallonmurtajat ja patorakenne, yhdyspenger, satama-allas ja laituri sekä meriväylän satama-altaaseen ulottuva osa. Satama-altaan kautta voimalaitos ottaa jäähdytysvedensä, jota tarvitaan laitoksen ydinreaktorin jäähdyttämiseen. Satama-altaan varsinainen kulku- ja virtausaukko on altaan luoteisnurkassa aallonmurtajassa. Satama-altaan pato rakennetaan altaan kaakkoiskulmaan ja se toimii satama-altaan sulkurakenteena ja varajärjestelmänä. Padossa on kolme 12 metriä leveää ja 3,5 metriä syvää virtausaukkoa, jotka voidaan tarvittaessa avata, jolloin vesi pääsee virtaaminen satama-altaaseen. Patorakenteen yli rakennetaan siltakannet, jotka toimivat ajoyhteytenä satama-altaan läntiselle aallonmurtajalle.

Normaalitilanteessa vesi pääsee virtaamaan satama-altaaseen aallonmurta-
jassa olevan virtausaukon kautta. Mutta jos talvella ahtojäät tukkivat vir-
tausaukon suuaukon, voi veden virtaus satama-altaaseen estyä. Tällöin pa-
don virtausaukot voidaan avata, jolloin vesi pääsee altaaseen eikä voimalai-
toksen jäähdytysveden saanti keskeydy. Sulkurakenteen tarkoitus on myös
estää sedimenttien kulkeutuminen satama-altaaseen, mikä olisi avoveden ai-
kana todennäköistä. Vedenpintojen korkeusero patorakenteen eri puolilla ei
tule käytännössä ylittämään arvoa 0,5 m missään olosuhteissa, johtuen sata-
ma-altaan avovesiyhteydestä mereen sekä siitä, että aallonmurtajia ei suunni-
tella vedenpitäviksi. Satama-alueen sijainti kartalla on esitetty kuvassa 4.



Kuva 3. Ydinvoimalaitos-alueen sijoittuminen Hanhikiven niemelle. Satama-allas ja patoraken-
nen näkyvät kuvan vasemmassa reunassa. Numeroiden selitteet: 1. Koulutuskeskus
2. Pääporttirakennus 3. Hallintorakennus 4. Paloasema 5. Laitostoimisto 6. Vierailukeskus
7. Verstaat ja varasto (Fennovoima)

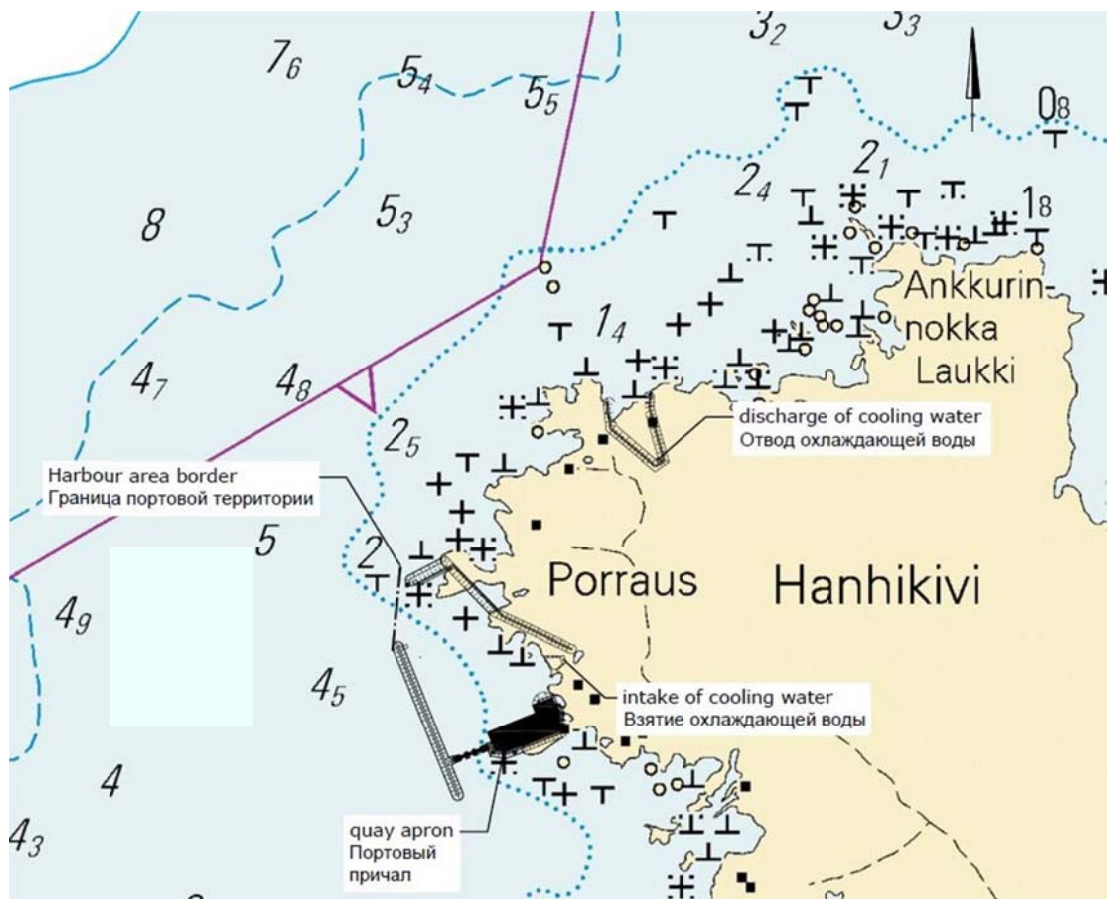
2.3 Rakennuspaikka

Voimalaitoksen rakennuspaikka sijaitsee Pyhäjoen kunnassa Pohjois-
Pohjanmaalla. Voimalaitos rakennetaan Hanhikiven niemelle vajaan seitse-
män kilometrin päähän kunnan keskustasta. Matkaa Raahen keskustaan on
noin 20 kilometriä. Hanhikiven niemi on harvaan asuttua eikä ydinvoimalaitos-
alueella ole ympärivuotista pysyvää asutusta. (Fennovoima 2016b.)

Satama, aallonmurtajat ja patorakenne rakennetaan voimalaitoksen lounais-
puolelle rannikolle. Rakentamista varten alueella tehdään mittavia ruoppaus-

ja louhintatöitä sekä maansiirtotöitä. Satama-altaan pohja louhitaan korkotasoon -10,0 joka on altaan vesisyvyys. Patorakenne ja aallonmurtajat sijoittuvat kokonaan olemassa olevalle vesialueelle, satamalaituri rakennetaan osittain nykyisen rantakallion päälle. Pato perustetaan tiivistetyn louhepenkereen päälle, perustamistason ollessa -4,7. Laituri koostuu 120 m pitkästä päälaiturista ja 20 m leveästä roro-rampista. Laiturin taustalle tulee noin 60 m leveä satamakenttä.

Topografialtaan Hanhikiven niemi on laakea ja matala kalliomuoto, joka on valtaosaltaan ohuehkon irtomaakerroksen peitossa. Geologisen selvityksen perusteella kallioperä koostuu lähes yksinomaan metakonglomeraattikivilajista. Hanhikiven niemen rantavyöhyke on hyvin matalaa ja karikkoista. Vuonna 2012 tehtyjen luotausten (Sito Oy) perusteella satama-altaan alueella vesisyvyys vaihtelee 0 metristä 3,5 metriin. (Aluehallintovirasto 2013.)



Kuva 4. Karttakuva satama-altaasta . Pato sijaitsee satamalaiturin (quay apron) vasemmalla puolella.

Alueella suoritettujen maaperätutkimuksien mukaan merenpohjan pintakerros on hiekkaa, soraa ja moreenia. Hieno hiekka liikkuu alueella virtausten muka-

na. Peruskallion yläpinnan taso vaihtelee padon kohdalla välillä -3,4 m ...-7,6 m.

Merentutkimuslaitoksen selvityksen (2008) mukaan vedenkorkeus Pyhäjoella laskee noin 10 cm vuosisadan puoliväliin mennessä ja nousee sitten takaisin nykytasolle vuosisadan loppuun mennessä. Epävarmuustekijät ovat kuitenkin suuret. Aallokon vaikutus rantavyöhykkeessä on huomattava rannikon avoimuuden takia. Ilmatieteen laitos on simuloinut Perämeren aallokkoa matemaattisen mallin avulla, jonka mukaan Hanhikiven edustalla esiintyy kesäkaudella säännöllisesti 2 m ja syys- ja talvikaudella yli 4 m merkitseviä aallonkorkeuksia. Pitkälle ulottuvan matalan alueen aiheuttama pohjakitka kuitenkin kuluttaa aaltojen energiaa, ja aallot heikkenevät selvästi ennen saapumistaan Hanhikiven rantaan. (Aluehallintovirasto 2013.)

Hanhikiven edustalla tehdyissä virtausmittauksissa suurimmat mitatut virtausnopeudet meriveden pintakerroksessa olivat 0,5m/s ja pohjan läheisyydessä 0,3m/s. Voimalaitoksen toiminnan aikana koko jäähdytysvesivirtaaman tullessa rakenteen läpi on virtausnopeus patorakenteen kohdalla noin 0,5 m/s. (Aluehallintovirasto 2013.)

Kylmän ilmaston ja matalan suolapitoisuuden vuoksi Perämeri on talvisin jään peittämä. Tyypillisesti jään vahvuus rannikoiden tuntumassa on 70 cm. (Aluehallintovirasto 2013.)

Talvella jää paksuuntuessaan ankkuroituu rannikon läheisyydessä karikoihin ja rantaan muodostaen kiintojävyöhykkeen. Tällä alueella kovatkaan tuulet eivät saa jäätä enää liikkeelle myöhemmin talvella. Tyypillisesti kiintojää vaikiintuu, kun jää on kasvanut 30 cm paksuuteen. Kiintojävyöhykkeellä tapahtuu vain hidasta jään lämpölaajenemisesta johtuvaa liikettä, minkä aiheuttamat jääkuormat ovat paljon pienempiä kuin tuulen liikuttaman vastaavan jäälaatan aiheuttamat voimat. Kokkolan ja Hailuodon välillä liikkuva jää ulottuu aivan rantaviivaan asti 25% todennäköisyydellä (ei kuitenkaan paksu jää), mutta ahtojäävallit eivät kuitenkaan pääse aivan rantaviivaan asti. Jäävallit tarttuvat pohjaan matalassa vedessä ennen rantaviivaa tai saariin ja luotoihin. (Furustam, Haapanen, Holttinen, Holttien, Liukkonen & Määttänen 1998, 23, 26-27.)

3 YLEISTIETOA PADOISTA

Pato on rakenne, jonka avulla säännöstellään veden virtaamista ja korkeutta. Padoiksi kutsutaan yleisesti kaikkia rakenteita, jotka rajoittavat veden luonnollista virtaamista tai sulkevat sen kokonaan. Patoja käytetään pääasiassa sähköntuotantoon, tulvien torjuntaan, vesiensäännöstelyyn sekä keinokastelun säännöstelyyn. Patoja käytetään myös vesiväylien patoamiseen vesisyvyyden kasvattamiseksi laivaliikenteelle. Patoamisen avulla luodaan vedenpintojen korkeusero, joka luo edellytykset vesivoiman käytölle sähköntuotannossa, tulvavesien säännöstelylle, maanviljelyksien kastelulle tai jollekin muulle vesien käytölle. Pato voidaan rakentaa myös kun halutaan estää veden nousu vesistöistä alaville rannoille. Muita esimerkkejä patojen käyttökohteista ovat vesirakentamisessa käytettävät väliaikaiset työpadot sekä kaivosteollisuuden käyttämät kaivosjätealtaan maapadot (suojavallit). Maapatoja käytetään suojavaileina myös muun teollisuuden jätevesialtaiden patoamiseen. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 54.) Padon rakentaminen aiheuttaa aina maa-alueiden jäämistä veden alle. Veden alla jäävien maa-alueiden laajuus riippuu padon korkeudesta ja maanpinnan muodoista. Säännöstelypadoilla veden pinnan tasoa voidaan säädellä aktiivisesti ja vesivoimalapadoissa veden pinnan tasoa voidaan säädellä veden juoksutuksilla padon sulkuporttien läpi.



Kuva 5. Patomaisema. (BHS Sonthofen)

Vesivoimaan käytetyt padot ovat kooltaan suurimpia, sillä niissä pyritään saamaan mahdollisimman suuri vedenpintojen korkeusero tehokasta sähköntuotantoa varten. Maailmassa on lukuisia kuuluisia patoja, joista esimerkkinä voidaan mainita Hooverin ja Dworshakin padot yhdysvalloissa, Almendran pato Espanjassa, Grande Dixencen pato Sveitsissä sekä Merowen pato Su-

danissa, joka on esitettyä kuvassa 6. Suomen suurimpia patoja ovat muun muassa Imatran pato, Pyhäkosken pato sekä Isohaaran pato, jotka toimivat vesivoimalaitoksien vesivarastoina.



Kuva 6. Merowen pato Sudanissa. Pato toimii gravitaattiorakenteena. (CWE)

3.1 Rakenteet ja patotyypit

Pato rakennetaan tiettyyn tarkoin valittuun paikkaan, jossa sen katsotaan toimivan parhaiten käyttötarkoituksessaan. Patojen rakennusaineena käytetään lähes poikkeuksetta betonia, maata ja louhetta. Pienien vedensäännöstelypatojen tai tulvapatojen rakennusaineena voi olla myös teräs. Patoluukut ja padon tekniset osat tehdään yleensä teräksestä. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 54-55.)



Kuva 7. Sainte-Croixin pato Ranskassa. Padon staattinen toiminta perustuu vaakasuuntaiseen holviin. (Var-matin)

Padot voidaan jakaa niiden staattisen toiminnan perusteella kahteen ryhmään: gravitaatiopatoihin ja holvipatoihin. Gravitaatiopatojen stabiilitetti perustuu padon suureen massaan, joka siirtää vaakasuoran vedenpaineen perustuksille. Holvipadon toiminta perustuu vaakasuoraan holviin, joka siirtää vedenpaineen patorakenteen sivuilla oleviin kallioihin tai tukiin. Maa- ja louhepadot ovat gravitaatorakenteita, joissa vedenpaineen kuormitukset siirtyvät perustalle maataytteen kitkan ja koheesion sekä louhetäytön kitkan välityksellä. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 55.) Kuvassa 7 on Sainte-Croixin pato Ranskassa, joka on tyypiltään holvipato. Kuvien 6 ja 8 padot ovat tyypiltään gravitaatiopatoja.

ICOLD (International Commission on Large Dams) jakaa patorekisterissään padot seitsemään päätyyppiin: maapadot (earthfill dams), louhepadot (rockfill dams), massiivipadot (gravity dams), ripapadot (buttress dams), säännöstelypadot (barrages), holvipadot (arch dams) sekä moniholvipadot (multiple arch dams). Näiden lisäksi on joukko patoja, jotka eivät kuulu edellä mainittuihin päätyyppisiin. (ICOLD.)

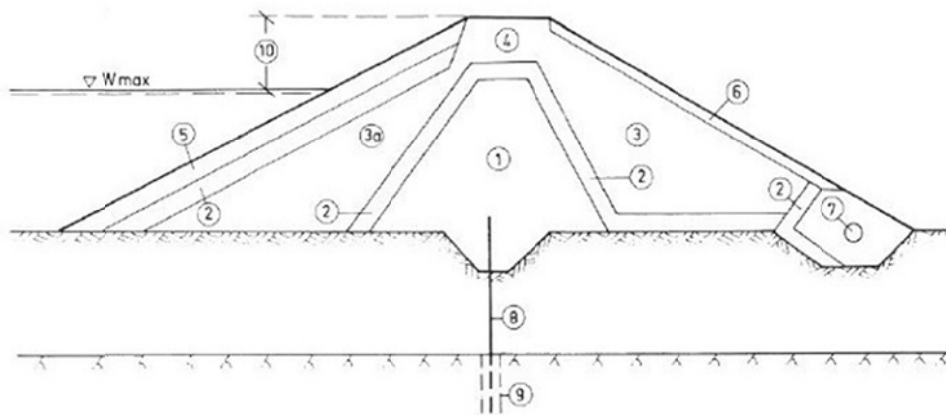


Kuva 8. Dworshakin pato Yhdysvalloissa. Pato toimii gravitaatorakenteena. (Tata & Howard)

3.1.1 Maapadot

Maa- ja louhepadot voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: homogeeniset maapadot, vyöhykepadot ja louhepadot. Homogeenisella maapadolla tarkoitetaan suurimmaksi osaksi yhdestä materiaalista rakennettua patoa. Rakennusmateriaalina käytetään esimerkiksi savea, silttiä, hiekkaa tai moreenia. Maapadon läpi suotautuvan veden määrä on huomattavan suuri, jos materiaalin vedenläpäisevyys rakenteessa on suurempi kuin 10^{-6} m/s. Homogeenisen padon materiaalimenekki on suuri, sillä padon luiskat pitää rakentaa loivemmiksi. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 72.)

Vyöhykepadolla tarkoitetaan useasta eri maa-aineksesta rakennettu patoa, joiden vedenläpäisevyys on erilainen. Padossa on erityinen tiivistysosa jonka avulla estetään veden virtaus padon läpi. Tiivistysosa voidaan tehdä esimerkiksi muovista, betonista, teräksestä tai asfaltista. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 72.)



Kuva 9. Maapadon rakenteelliset osat. 1. Tiivistysosa 2. Suodattimet 3. Tukipenger 3a. Etupenger 4. Padon harja 5. Märän luiskan verhoitus 6. Kuivan luiskan verhoitus 7. Kuivatusjärjestelmä 8. Katkaisuseinä 9. Injektointi 10. Kuivavara (Kilpeläinen, J. E., Mustonen, S. & Muurinen, E. 1979)

Louhepadolla tarkoitetaan patoa, jossa suurin osa padon materiaalista on vetä hyvin läpäisevää louhetta tai luonnonkiveä. Tiivistysosa tehdään padon keskelle tai pintaan joko käytävissä olevasta tiivistykseen soveltuvasta maa-aineksesta tai muusta materiaalista, kuten betonista. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 72.)

Myös väliaikaiset työpadot tehdään lähes yksinomaan maa- ja louhetäytepatoina. Työpatoja käytetään vesirakentamisessa, kun rakennustyö halutaan

tehdä kuivatyönä. Työpadon suunnitteleminen vaatii yleensä samanlaiset pohjatutkimukset ja hydrologiset selvitykset kuin pysyvien maapatojen rakentaminen. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 95.)

3.1.2 Massiiviset betonipadot

Betoni on yleisin rakennusaine padoissa, vaikka kokonaan betonista koostuvien massiivipatojen rakentaminen on vähentynyt. Maanrakennustekniikan ja maanrakennuskoneiden kehittymisen ansiosta maapatojen suosio on kasvanut, ja useimmiten pato on taloudellisinta toteuttaa maa- tai louhepatona. Betonia käytetään kuitenkin aina myös maapadoissa vesivoimaloiden ja virtausaukkojen rakenteissa. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 62.)

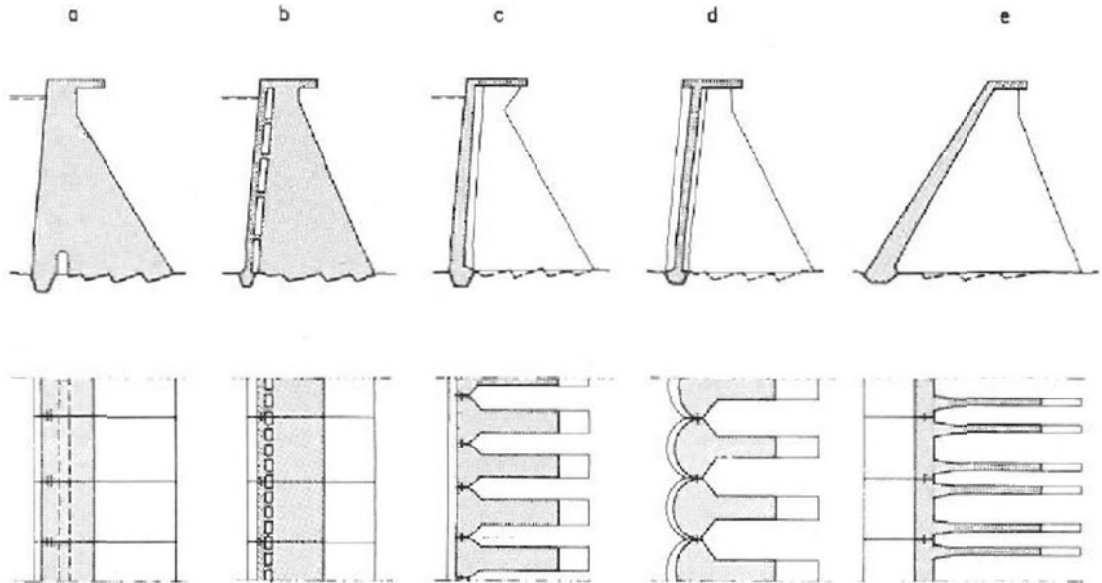
Kokonaan betonista koostuva betonirakenne voi tulla kuitenkin kyseeseen, mikäli maapatoon sopivia materiaaleja ei ole saatavissa riittävän lähellä rakennuspaikkaa tai jos rakennuspaikka ei sovellu maapadon rakentamiseen. Esimerkiksi rakennuspaikan ahtaus, padon pituusleikkauksen muoto tai perustulosuhteet voivat estää maapadon rakentamisen tai tehdä siitä kohtuuttoman kallista. Myös epäedullinen ilmasto (sateet ja pakkasen) voi johtaa maapadon hylkäämiseen joko korkeiden kustannuksien tai pitkän rakennusajan takia. Betonipadon rakentaminen on perusteltua myös, jos on pelättävissä että padossa voi tapahtua ylivirtauksia esimerkiksi odottamattoman tulvan takia. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 62.) Kuvassa 8 on kokonaan betonista rakennettu Dworshakin pato Yhdysvalloissa, jossa on sähköä tuottava vesivoimalaitos. Kuvan 6 Merowen pato Sudanissa on yhdistelmä maapatoa ja massiivista betonipatoa, jossa padon vesivoimalaitos on rakennettu betonirakenteena.

Betonipato mitoitetaan gravitaatorakenteena ja pato on suunniteltava siten, että se pystyy ottamaan vastaan kaikki siihen kohdistuvat kuormitukset. Patorakenteen tulee täyttää seuraavat perusehdot:

- Pato ei saa kaatua.
- Pato ei saa liukua.
- Betonin ja perustan sallittuja jännityksiä ei ylitetä.
- Padon ja sen perustan tulee olla tiivis.

(Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 63.)

Pysyväksi suunnitellun padon varmuuden kaatumista ja liukumista vastaan on yleensä oltava 1,5-kertainen, mutta patojen mitoituksessa on kuitenkin syytä pyrkiä suurempaan varmuuteen. Kirjallisuudessa varmuuskertoimeksi suositellaan useimmiten arvoa 2. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 63-64.)



Kuva 10. Gravitaatiopatoja. a. Massiivinen betonipato b. Massiivinen betonipato suojaverhoksella c. Lamellipato d. Pyöreäpäinen lamellipato e. Laattapato (Kilpeläinen, J. E., Mustonen, S. & Muurinen, E. 1979)

3.1.3 Holvipadot

Holvipato voidaan rakentaa kanjoniin jonka molemmat seinämät koostuvat lu-
jasta ja tiiviistä kalliosta. Padon jänneväli ei kuitenkaan saisi muodostua suu-
remmaksi kuin 3...5 kertaa padon korkeus. Holvipadon toiminta perustuu vaa-
kasuoraan holviin, joka siirtää vedenpaineen sivuilla oleviin kallioihin. (Kilpe-
läinen, Mustonen & Muurinen 1979, 70.)

Holvipadon rakennuskustannukset ovat edullisemmat verrattuna muihin pato-
tyyppeihin johtuen pienemmästä materiaalimenekistä sekä rakentamistavan
eduista. Patotyyppiin kohdistuvia riskejä ovat perustusten siirtyminen ja läm-
pötilan muutoksista johtuvat liikkeet. Patotyyppi soveltuu käytettäväksi vuoris-
toisella seudulla jossa virtaava joki halutaan padota sähköntuotantoa varten.
Sopiva rakennuspaikka voi olla esimerkiksi kapea kohta solassa, jonka kallio-
muodot mahdollistavat padon rakentamisen. Suomen maasto ei tarjoa mah-
dollisuuksia holvipatojen rakentamiselle. Maailmalla patotyyppi on kuitenkin

yleinen. Yksi tunnetuimmista holvipadoista maailmassa on Hooverin pato Yhdysvalloissa. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 70.)

3.1.4 Ripapadot

Lamellipato ja laattapato ovat yleisimmin käytetyt ripapatotyypit. Lamellipadoilla voidaan saavuttaa 30 - 40 % säästö betonimenekissä verrattuna massiiviseen patoon. Lamelli- ja laattapadoissa on ripatyyppiset kulmatuet jotka pitävät padon vedenpaineeseen pystyssä. Patotyyppien ero tulee niiden mitoitukselta: lamellipadon seinä mitoitetään samojen periaatteiden mukaan kuin massiivisten betonipatojen. Lamellipadon vedenpaineeseen tehdään massiivisena betonivaluna eikä se ota vastaan vetojännityksiä. Seinä tulee lähes pystysuoraan asentoon, jolloin padon stabiilitetti muodostuu käytännössä kokonaan rakenteen omasta painosta. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 66-67.)



Kuva 11. Roselendin pato Ranskassa. Pato on tyypiltään ripapato (lamellipato) ja se toimii vesivoimakäytössä. (Adrien Mortini)

Laattapadoissa vedenpaineeseen (etuseinä) tehdään raudoitettuna betonirakenteena ja seinä ottaa vastaan vetojännityksiä. Seinä rakennetaan kaltevaan asentoon ja se on ohuempi kuin lamellipadon seinä. Laattapadoissa padon kaltevan etuseinän päällä olevan veden painolla sekä pienellä veden nostovoimalla on ratkaiseva merkitys padon stabiilitettiin. Padon mitoitus tapahtuu kokeilemalla erilaisia paineseinän kaltevuuksia ja ripavälejä sekä vertaamalla eri vaihtoehtojen kustannuksia. Käytännössä 45 astetta loivemmat seinäkaltevuudet eivät tule kysymykseen. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 67-68.)

3.1.5 Säännöstelypadot

Säännöstelypato (barrages) koostuu useasta rivissä olevasta portista, jotka voidaan avata tai sulkea ja siten kontrolloida padon läpi virtaavan veden määrää. Patotyyppiä käytetään yleisesti viljelyalueiden keinokastelun säännöstelyyn. Esimerkkinä patotyyppistä voidaan mainita Ballokin säännöstelypato Pakistanissa, kuvassa 12. Säännöstelypatoja voidaan käyttää myös jokien suuaukoilla estämään vuorovesien tunkeutumisen sisämaahan tai vaihtoehtoisesti hyödyntämään vuorovesivoimaa sähköntuotannossa.



Kuva 12. Ballokin säännöstelypato Pakistanissa. Padon avulla säännöstellään viljelymaiden vedensaantia. Padossa on avattavat patoluukut ja sen toimintaperiaate on samanlainen kuin settipadoissa. (F9view)

3.2 Patojen sulkulaitteet

Patojen virtausaukot varustetaan sulkulaitteilla, jotta patoaukoista juoksutettavan veden määrää voidaan säännöstellä. Yleisimmin käytetään teräsrakenteisia tasoluukkuja tai segmenttiluukkuja, joiden liikuttelu tapahtuu moottorikäyttöisillä nostokoneistoilla. Nostomoottoreilla varustetut teräsluukut soveltuvat käytettäväksi myös pienissä tulva-aukoissa, jos luukkuja joudutaan käyttämään paljon. Muita sulkutyyppejä ovat settipadot, neulapadot, sektoriluukut, läppä-

luukut sekä kaksoisluukut. (Kilpeläinen, Mustonen % Muurinen 1979, 104.) Tässä työssä käydään läpi tarkemmin vain settipatojen ja tasoluukkujen rakenteita.

Patojen sulkulaitteissa käytetään yleensä nostokoneistoa padon luukkujen tai settipalkkien nostamiseen ja laskemiseen. Vain pienimmissä settipadoissa settipalkkien nosto voi tapahtua käsin, samoin kuin väliaikaisina tulvaesteinä toimivien settiseinien palkkien nosto. Nostokoneistojen avulla patoa voidaan käyttää aktiiviseen vedensäännöstelyyn ja virtausta padon läpi voidaan säännöstellä vaikka päivittäin ja lyhyellä varoitusaajalla.



Kuva 13. Säännöstelypadon nostettavat sulkuluukut. (Kodru Mooney)

Raskaiden, harvoin avattavien patoluukkujen tai settipalkkien nosto voidaan tehdä myös ajoneuvonosturilla. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi sellaisissa patojen virtausaukoissa, jotka avataan vain harvoin esimerkiksi patoaltaan tyhjennystä varten. Ratkaisu soveltuu myös Hanhikiven satama-altaan patoon, jossa ei tapahdu säännöllistä vedensäännöstelyä. Padon settipalkit nostetaan pois vain poikkeustilanteessa ja talvella jään alkaessa muodostua sekä keväällä jäiden lähdettyä. Padon settipalkit ovat lisäksi raskaita, joten nostokoneiston pitäisi olla järeä. Raskaat koneistot ovat kalliita ja ne vaativat huoltoa, joten koneiston rakentaminen patoon ei senkään takia ole perusteltua.

3.2.1 Settipato

Settipadot ovat rakenteita, joissa on yksi tai useampi virtausaukko, jotka voidaan sulkea settiseinällä. Settiseinä on päällekkäin ladotuista puu-, teräsbetoni- tai teräspalkeista muodostuva seinämä. Settipatoja käytetään tulvapatoina, veden säännöstelypatoina, uittopatoina sekä patoaukkojen varasulkulaitteina. Settipatoja käytetään myös kanavien ja jokien vedenpintojen säännöstelyssä sekä väliaikaisina tulvaesteinä. Settipalkit (settilankut, setit) asetetaan padon tukirakenteissa oleviin uriin, jotka vahvistetaan muototeräksillä nurkkien lohkeamisen estämiseksi sekä settilankkujen liukumisen helpottamiseksi. Teräs- ja betonisetelillä voidaan sulkea varsin leveitäkin virtausaukkoja, ja ne kestävät suuriakin vedenpaineita. Puisia settejä voidaan käyttää kapeissa ja matalammissa virtausaukoissa settiseinäinä. (Kilpeläinen, Mustonen, & Muurinen, 104)



Kuva 14. Australiassa sijaitseva settipato. (AWMA)

Settipadon toiminta perustuu siihen, että settilankkuja poistamalla tai lisäämällä voidaan säännöstellä veden virtausta padon läpi ja siten säännöstellä vesialueen vedenpintojen tasoa. Vedenpintojen säännöstelytarvetta esiintyy etenkin tulvien aikaan ja esimerkiksi viljelyalueiden kastelun säännöstelyssä. Settipalkkien nosto tapahtuu nostokoneiston avulla. Settipalkkien nostossa voi olla käytössä esimerkiksi yksiraiteista kiskoa pitkin liikkuva nostolaite, mikä on

näkyvässä kuvassa 15. Settipadon virtausaukoissa voi olla myös erilliset nostolaitteet. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 104-107)



Kuva 15. Yksikiskoista rataa pitkin liikkuva settipalkkien nostolaite. (iCrane)

Settipadot ovat yleisiä maailmalla ja niitä käytetään etenkin tulvapadoissa ja vedensääntelyrakenteina. Suomessa yksiaukkoisia settipatoja käytetään etenkin sääntöstelyaltaiden padoissa tulvasuojelukäytössä. Settiseiniä käytetään Suomessa myös patojen varavirtausaukkojen sulkulaitteina. Myös sulkuluukkuja käytetään patojen varavirtausaukkojen sulkemiseen. Padon rakenteiden ja voimalaitoksen tekniikan huoltoa varten patoallas voidaan tyhjentää avaamalla varavirtausaukon sulkuluukku tai nostamalla settipalkit pois.

Suurempia settipatoja on Suomessa vähemmän, yksi esimerkki on Riuttansalmen sääntöstelypato Pomarkussa, jota on käytetty tulvasuojelussa ja viljelyalueiden vedensääntelyssä.



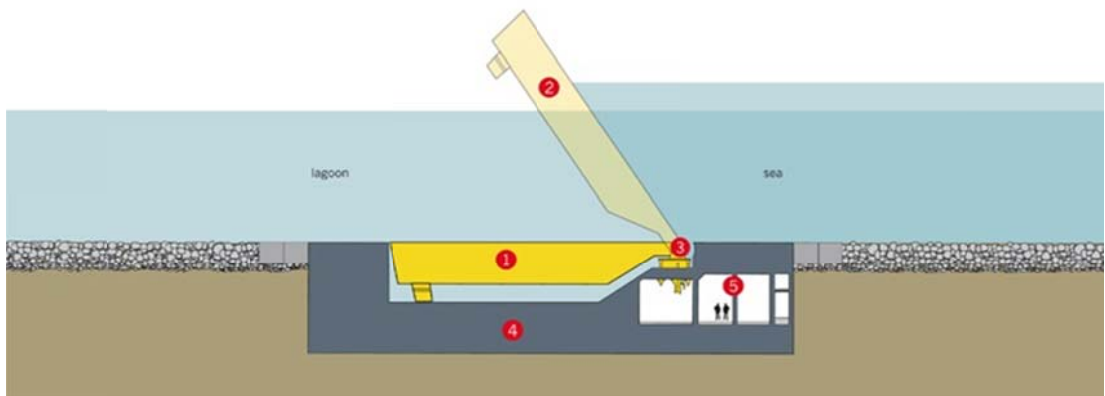
Kuva 16. Settipalkkien käyttöä vedensääntelyrakenteessa. (IBS)

3.2.2 Teräksiset tasoluukut

Yleinen virtausaukkojen sulkumekanismi padoissa ovat teräksiset tasoluukut, joiden nosto ja lasku voi tapahtua moottorikäyttöisillä, mekaanisilla tai hydraulisilla nostokoneistoilla. Pienissä padoissa tasoluukkujen nosto voi tapahtua käsikäyttöisesti, jolloin käsipyörää pyörittämällä luokkuun yhdistetty kierretanko nostaa tai laskee luukkuja. Toinen vaihtoehto voi olla vaijerien ja vinssin avulla toimiva koneisto. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 104-107.) Isoissa padoissa, joissa virtausaukot ovat leveitä ja vedenpaineet suuria, on käytössä järeitä nostokoneistoja.

3.3 Kasuunirakenteet padoissa ja satamissa

Kasuuneita käytetään yleisesti satama-rakenteissa, betonirakenteisissa padoissa sekä siltojen perustuksissa. Yksittäinen kasuuni voi toimia myös tukitihtaalina, jota vasten alus voidaan tukea tai kääntää. Kasuuneita käytetään myös muihin käyttökohteisiin, kuten osana Venetsiaan rakennettavaa MOSE-tulvaestettä (Ministry of Infrastructure and Transport, Italy). Venetsian tulvaesteessä on pneumaattisesti toimivat sulkuluukut, jotka ovat teräsrakenteisia onttoja kotelorakenteita. Normaalitylanteessa luukut ovat täytetty vedellä ja ne makaavat meren pohjassa kasuunirakenteiden päällä. Merenpinnan noustessa ja tulvien uhatessa kaupunkia sulkuluukut nostetaan pystyyn. Tämä tehdään täyttämällä sulkuluukut paineilmalla, jolloin sulkuluukut nousevat ja muodostavat yhtenäisen seinämän. Tulvaesteen avulla pyritään estämään vedenpinnan nousu Venetsian laguunissa sekä veden tulviminen kaupunkiin. Rakenteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 17.

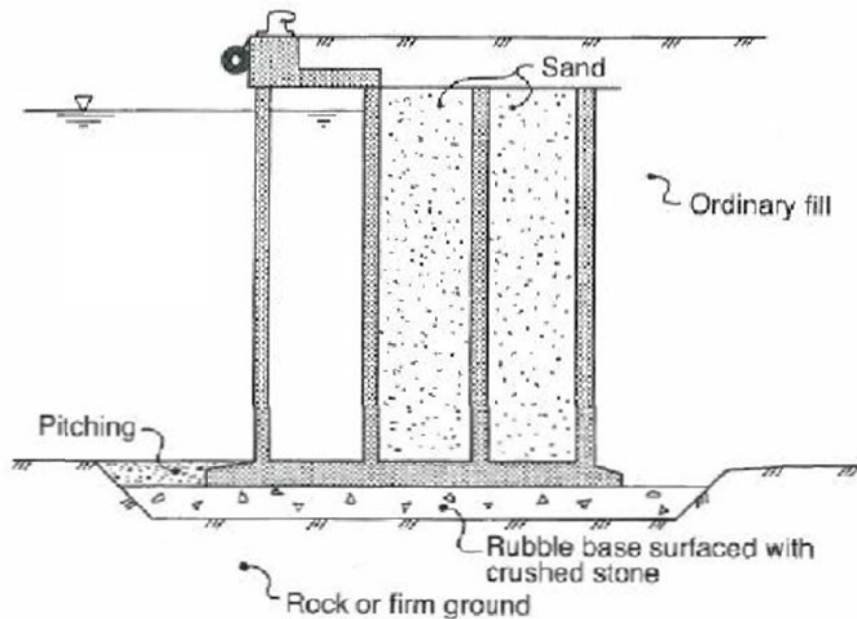


Kuva 17. Venetsian MOSE-tulvaesteen toimintaperiaate. Teräsrakenteiset sulkuluukut ovat kiinni betonirakenteisissa kasuuneissa ja ne voidaan nostaa paineilmalla pystyyn. Numeroiden selitteet: 1. Sulkuluukku valmiusasennossa 2. Sulkuluukku toiminta-asennossa 3. Sarana 4. Kasuunirakenne 5. Tulva-esteen käyttötila. (World Infrastructure News)



Kuva 18. Venetsian tulvaesteeseen tulevien kasuunien rakentamista telakalla. (Enerpac)

Kasuunit ja ovat gravitaatorakenteita, joiden omapaino sekä rakenteen sisällä olevan täytön paino vastustavat liu'uttavia ja kaatavia voimia kitkan (tai koheesion) avulla, joka vaikuttaa kasuunin pohjan ja maa-aineksen välillä. Rakenteen ja täytön paino suunnitellaan riittävän suureksi, jotta kitkavoima on suurempi kuin rakenteeseen kohdistuva vaakavoima. Tällöin vaakakuormitus ei aiheuta rakenteen siirtymistä. Sataman laiturirakenteen muodostavaa kasuunia tai toispuoleisesti täytön yhteyteen sijoitettua kasuunia kuormittaa maanpaineen vaakakomponentti. Lisäkuormaa rakenteeseen aiheutuu taustatäytön päällä olevasta hyötykuormasta sekä ajoneuvo- tai nosturikuormista.



Kuva 19. Kasuunirakenteinen satamalaituri. (Thoresen, C. A. 2010)

Vedenpaine on yleensä yhtä suuri laiturirakenteen molemmin puolin, mutta suunnittelussa voidaan ottaa huomioon esimerkiksi 0,5m vedenpintojen korkeuserosta johtuva vedenpaine. Tämä voi johtua esimerkiksi vedenpinnan tasojen hitaasta tasautumisesta eri puolilla rakennetta. Kasuunit tulee suunnitella kestämään edellä mainitut käytön aikaiset kuormat, mutta myös uittokuljetuksen aikaiset kuormat, kuten vedenpaineen aiheuttaman kuormituksen. Myös kasuunien täyttämistä aiheutuvat kuormat pitää huomioida, sekä hinaajan kiinnityspisteistä aiheutuvat pistemäiset kuormat. (Thoresen 2010, 199-200.)

Kasuunit ovat yleensä suorakaiteen muotoisia ja betonirakenteisia, mutta niiden muoto voi myös vaihdella. Kasuunit valmistetaan yleensä rannalla tai telakalla, jonka jälkeen ne lasketaan veteen ja hinataan sijoituspaikalle. Kasuunit upotetaan avaamalla venttiilit tai vaihtoehtoisesti pumppaamalla niihin vettä tai laskemalla painolastia kasuunin sisälle. Painolastina voi olla esimerkiksi murskattu kivi ja louhe tai väliaikaiset painot. (Thoresen 2010, 199-200.)



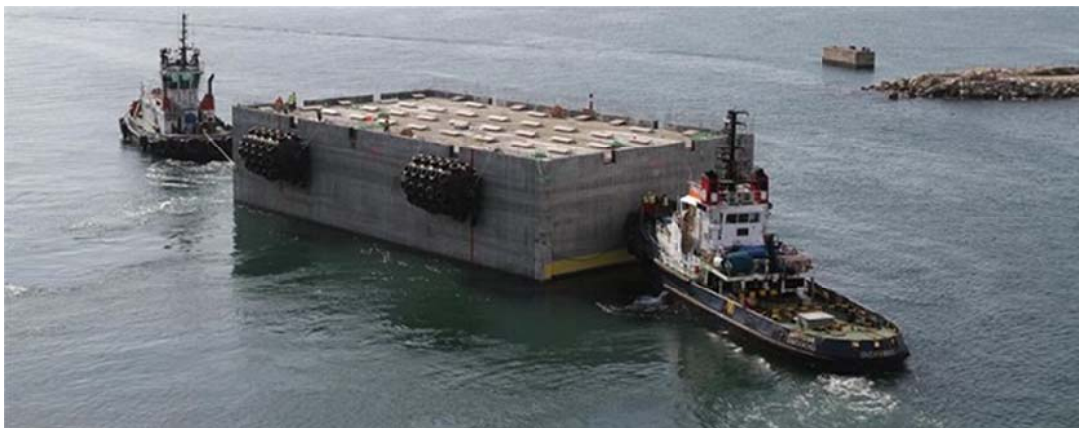
Kuva 20. Kasuunin uittamista Venetsiassa, Italiassa. Kasuuni on osa Venetsiaan tulevaa MOSE-tulvaestettä. (Strukton)

Rakentamistavan hyötynä ovat vedenalaisen rakennustyön vähäisyys muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Vedenalainen rakentaminen on erittäin kallista, ja kasuuneita käyttämällä esimerkiksi vedenalaisen betonointityön määrä voidaan minimoida. Kasuunirakenteiden käyttö on erityisen taloudellista ja järkevää, jos kasuunit voidaan rakentaa olemassa olevan vesillelaskuradan yhteydessä tai kuivatelakalla, josta ne voidaan uittaa vesille helposti. Kaikki kasuu-

nit kannattaa suunnitella samanlaisiksi, jotta niiden rakentamisessa syntyvä toistuvuus alentaa kustannuksia. (Thoresen 2010, 199-200.)

Kasuunit perustetaan yleensä murske- tai louhekerroksen varaan, joka on tiivistetty ja tasoitettu oikeaan korkotasoon. Ennen kasuunien upotusta on tärkeää tarkistaa, että murskepatjan yläpinta on tasainen eikä siitä ole lähtenyt virtausten mukana kiviainesta. Jos rakennuspaikka on alttiina aalloille ja virtauksille, kannattaa aikataulu suunnitella siten, että murskekerroksen rakentamisen ja kasuunien hinaamisen ja upottamisen välinen aika on mahdollisimman lyhyt. Kasuunien upotuksen jälkeen kasuunit täytetään kiviaineksella ja päälle valetaan tarvittaessa betonilaatta. Kasuuni voidaan myös suunnitella paineistetuksi, mikäli kasuunin sisällä pitää tehdä vedenalaisia rakennustöitä. Tämä edellyttää vaativaa rakennesuunnittelua, jotta työ kasuunin sisällä voidaan toteuttaa turvallisesti. (Thoresen 2010, 199-200.)

Kasuunien upottaminen oikealle paikalleen on aina hieman epätarkkaa, mikä pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Upotuksen tarkkuus lisääntyy, mikäli kiviaineskerros on hyvin tasattu ja tiivistetty ja mikäli upotus on hyvin kontrolloitua. (Thoresen 2010, 199-200.)



Kuva 21. Satama-rakenteeseen tulevaa kasuunia hinataan Espanjasta Brasiliaan, Porto Do Acu-satamaan. (The Corner)

4 PATORAKENTEIDEN VAIHTOEHTOJEN TARKASTELU

Patorakenteiden vaihtoehtojen tarkastelun tarkoituksena oli löytää rakenteeltaan ja toteutettavuudeltaan sopivin patovaihtoehto satama-altaaseen. Tarkastelussa vertailtiin kolmea erilaista patorakennevaihtoehtoa (sulkurakennetta): kasuunirakenteinen settipato, kulmatukimuureista ja penkeristä koostuva settipato sekä tilapäisten työpatojen sisällä rakennettava betonipato. Patovaihtoehtojen vertailun lähtöaineistona käytössä oli vesilupahakemusvaiheessa tehty patorakenteen yleispiirustus, joka oli laadittu Sito Oy:ssä vuonna 2012. Siinä patorakenteeksi (sulkurakenteeksi) oli valittu settipato, jossa oli pyöreät kasuunit, teräsrakenteiset settilankut kasuunien väleissä ja padon päissä oli kulmatukimuurit kasuunien molemmin puolin.

Rakennesuunnitteluvaiheen oli tarkoitus alkaa loppuvuodesta 2015, joten vertailu piti tehdä heti marraskuun aikana, jonka jälkeen valitun patorakennevaihtoehdon rakennesuunnittelun oli tarkoitus alkaa. Patovaihtoehtojen tarkastelu tehtiin suunnittelun alussa tutkimalla eri vaihtoehtojen rakenteita ja toteutettavuutta. Kaikki tutkitut rakenteet ovat tyypiltään gravitaatorakenteita. Gravitaatiopadon rakenteet tulee suunnitella siten, etteivät patoon kohdistuvat kuormitukset aiheuta padon liukumista tai kaatumista eikä myöskään kokonaisstabiiliuteetti saa vaarantua. Lisäksi padon rakenteiden ja sen alla olevan maapohjan tulee kestää kuormitukset rakenteen vaurioitumatta koko käyttöiän ajan. Eri patovaihtoehtojen kustannustehokkuusvertailu ei sisällynyt opinnäytetyöhön, vaan työssä keskityttiin ainoastaan rakenteiden vertailuun.

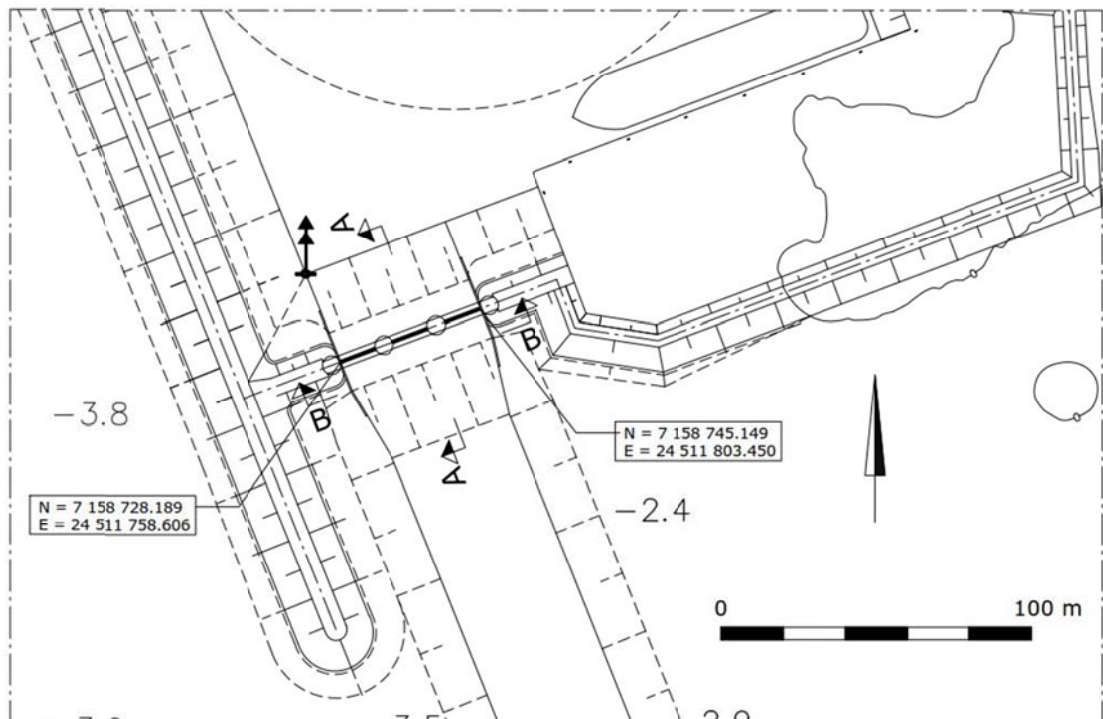
4.1 Kasuuneista ja settilankuista koostuva settipato

Kasuuneista ja settilankuista rakentuva settipato oli alkuperäinen vaihtoehto, joka oli valittu padon rakenteeksi vuoden 2012 suunnitelmassa. Tässä vaihtoehdossa pato rakentuu kasuuneista ja teräsrakenteisista settilakuista, jotka lasketaan kasuuneissa oleviin settiuriin sekä kasuunien väleissä oleviin kynnyspalkkeihin. Settiurat tiivistävät settiseinän vesitiiviiksi. Padon päädyt on mahdollista toteuttaa kasuunirakenteilla, kulmatukimuureilla tai näiden yhdistelmällä. Kasuunit rakennetaan kuivatelakalla tai rannalla luiskaradan päässä, minkä jälkeen ne lasketaan vesille ja hinataan lopulliseen sijoituspaikkaansa. Kasuunien rakentamispaikka voi sijaita hyvinkin pitkällä, sillä kasuuneita voi

hinata jopa valtameren yli tarvittaessa. Kun rakenteet valmistetaan etukäteen kuivalla maalla, pysyy vedenalaisen betonoinnin määrä minimissä. Vedenalainen betonointi on hyvin kallista, joten sitä kannattaa käyttää vain jos se on välttämätöntä. Osa kynnyksenalkeista sekä koko eroosiosuojalaatta pitää kuitenkin tehdä vedenalaisena betonivaluna, mutta tämä pitäisi tehdä kaikissa rakentamismuutoksissa, paitsi työpatojen sisällä tehdyssä vaihtoehdossa.

Kasuunirakenteisen padon etuna on se, että rakenteet voidaan valmistaa kuivalla maalla hallituissa olosuhteissa. Muottityön, raudoittamisen ja betonivalujen tekeminen on kontrolloidumpaa ja myös halvempaa toteuttaa, kun työ tehdään kuivatelakalla tai vesillelaskuradan päässä. Merenkäynti ja myrskyt sekä talvella jääolosuhteet saattavat estää työskentelyn rakennuspaikalla, jolloin rakentamistavan hyödyt korostuvat. Myös laadunhallinta on helpompaa toteuttaa. Rakennesuunnittelussa huomioitavaa on, että kasuunit kannattaa suunnitella mahdollisimman samanlaisiksi, jotta samoja muotteja voidaan hyödyntää useasti ja siten alentaa kustannuksia.

JÄÄHDYTYSVEDEN OTTOKANAALIN
SULKURAKENNE, ASEMAPIIRUSTUS 1:1000

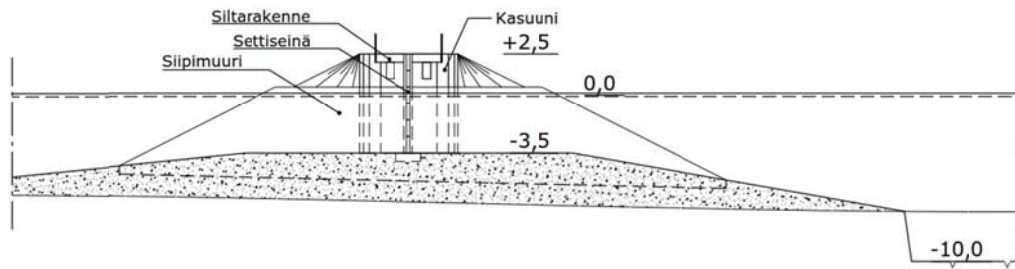


Kuva 22. Patorakenne vuoden 2012 suunnitelmassa.

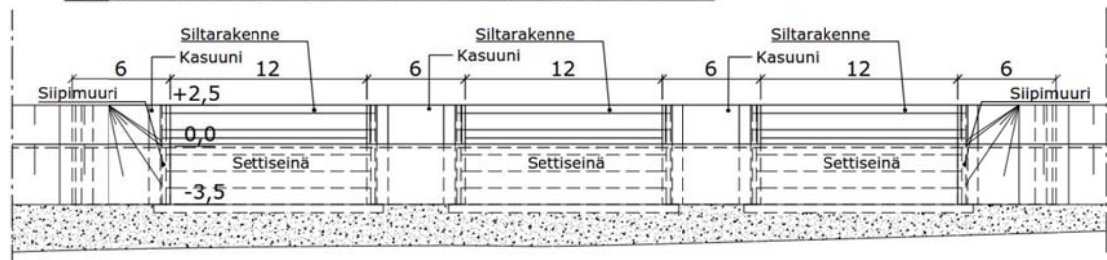
Kasuuneja tulee patorakenteeseen 4-6 kappaletta, riippuen siitä tuleeko padon päihin kaksi kasuunia rinnakkain vai yksi kasuuni ja kulmatukimuurit ka-

suunin molemmin puolin. Kulmatukimuurit tarvitaan, jotta maapenkereet padon päissä voidaan toteuttaa luiskattuina, sillä penkereiden luiskat eivät saa ulottua 12,0 m leveän virtausaukon alueelle. Jos kasuuneita tulee kaksi rinnakkain, ei kulmatukimuureja tarvita penkereiden rakentamiseen. Kasuuneita ja kulmatukimuureja käytetään yleisesti esimerkiksi laiturirakenteissa ja molemmat ratkaisut soveltuvat käytettäväksi myös Hanhikiven patorakenteessa.

JÄÄHDYTYSVEDEN OTTOKANAALIN SULKURAKENNE, A-A



JÄÄHDYTYSVEDEN OTTOKANAALIN SULKURAKENNE, B-B



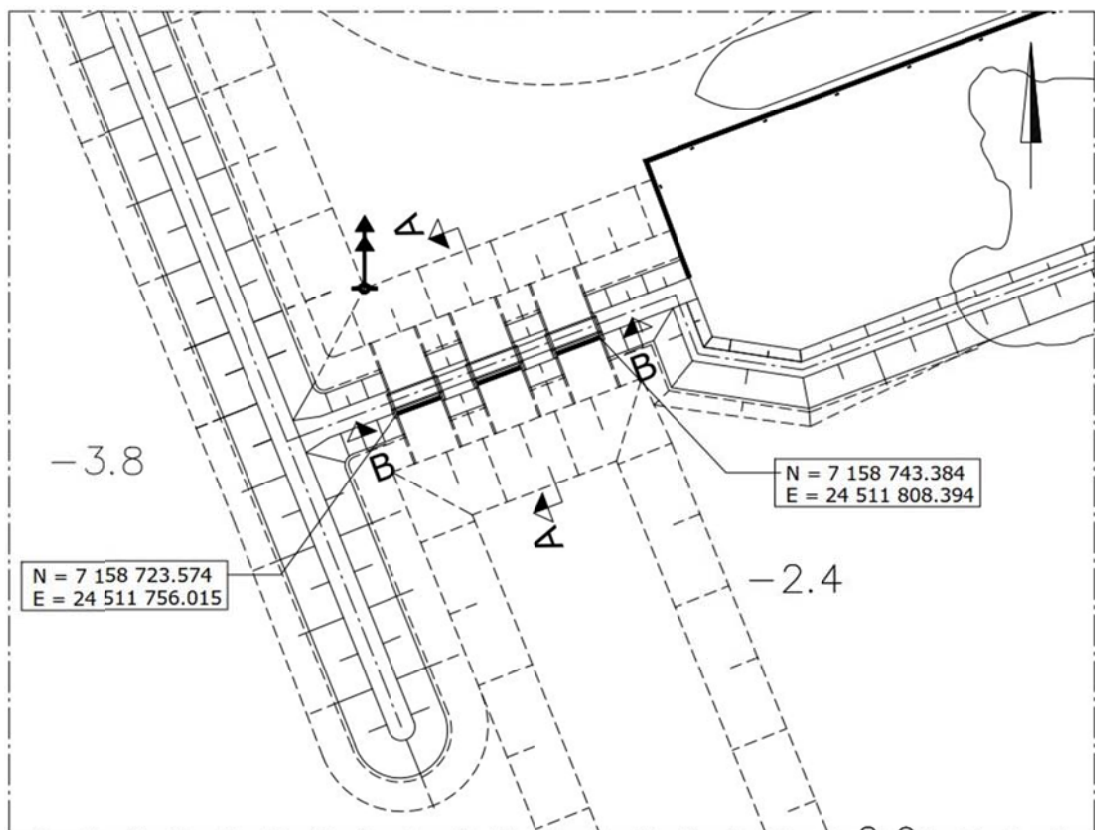
Kuva 23. Patorakenteen poikkileikkaukset vuoden 2012 suunnitelmassa.

Settipato ja settipalkit voidaan tarvittaessa suunnitella suurillekin vedenpainelle. Hanhikiven satama-altaassa patorakenteeseen kohdistuva vedenpaine on alhainen, eikä vedenpintojen korkeusero patorakenteen eri puolilla ylitä arvoa 0,5m (ks. kappale 2.2). Suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon jääkuormat, jotka vaikuttavat rakennuspaikalla talvisin. Satama-altaan pato sijaitsee aallonmurtajan suojassa, eivätkä ahtojäät voi kuormittaa rakenteita. Terminen jäänpaine tulee kuitenkin huomioida mitoituksessa. Kasuuni toimii gravitaatorakenteena, jossa kasuunin pohjan ja maakerroksen välinen kitka pitää kasuunin paikoillaan kuormitustilanteessa. Patoon kohdistuvat kuormitukset pysyvät kohtuullisina, joten kasuunirakenteisen padon voidaan katsoa soveltuvan hyvin käytettäväksi kohteessa. Rakenteen edullisuutta lisäävät myös toteutustavan tuomat hyödyt laadunhallinnassa ja rakentamisolosuhteiden epävarmuuksien minimoimisessa.

4.2 Kulmatukimuureista, penkereistä ja settipalkeista koostuva settipato

Kulmatukimuureista koostuvassa patorakenteessa kasuunit korvataan kulmatukimuureilla ja louhepenkereillä. Kulmamuurit toteutetaan L:n muotoisina elementteinä, jotka nostetaan proomulta pohjapenkereen päälle riviin. Kulmatukimuurit voidaan varustaa rivoilla (kulmatuilla), jolloin elementin seinästä voi tehdä ohuemman ja näin säästää kustannuksissa. Kulmatukimuurit voidaan rakentaa rannalla rakennuspaikan lähellä, mutta ne voidaan myös kuljettaa kauempaa rakennuspaikalle. Esivalmistuksen suuri määrä on yksi vaihtoehdon suurista hyödyistä, samalla tavalla kuin kasuunirakenteella. Kulmatukimuruelementit kannattaa suunnitella mahdollisimman suuriksi, jolloin asennustyö nopeutuu ja nostoon käytetyn nosturin kapasiteetti tulee kokonaan käytetyksi. (Thoresen 2010, 195-196.)

JÄÄHDYTYSVEDEN OTTOKANAALIN
SULKURAKENNE, ASEMAPIIRUSTUS 1:1000

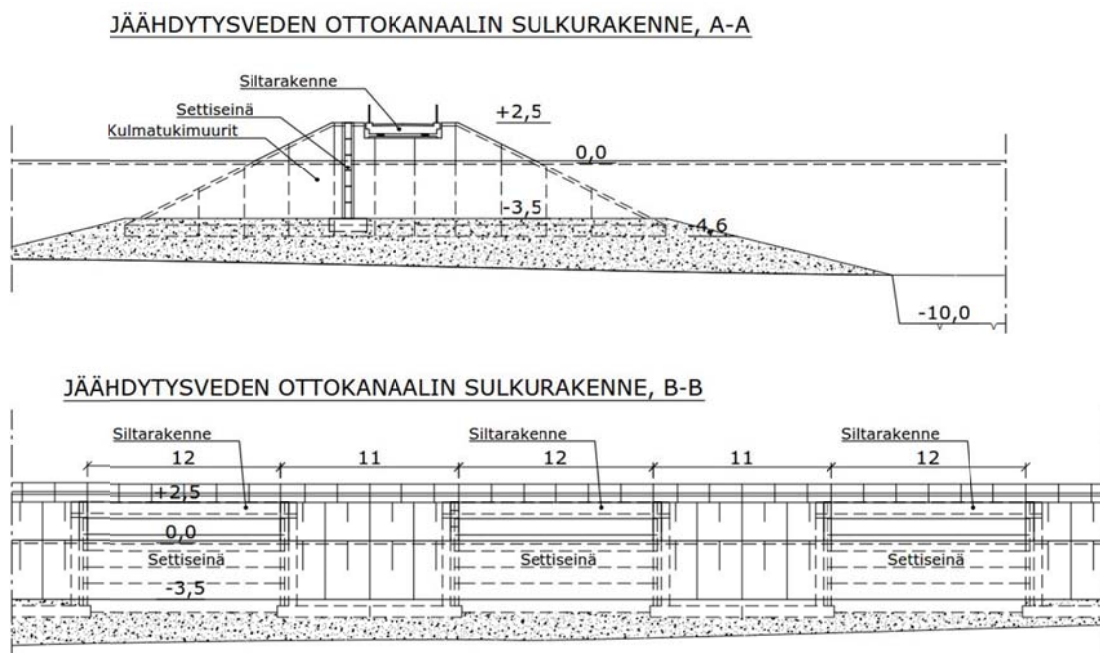


Kuva 24. Kulmatukimuureista ja penkereistä koostuvan patorakenteen tasokuva.

Korkea louhetäyttö sekä liikennekuorma täytön päällä aiheuttavat suuren maanpaine kuorman elementteihin, mikä pyrkii liu'uttamaan ja kaatamaan elementtejä. Tämän vuoksi elementin pohjalaatasta pitää tehdä riittävän leveä ja paksu, jotta kitkavoima pohjalaatan ja louhetäytön välillä kasvaa riittävän

suureksi. Louhetäyttö tehdään 1:2 luiskakaltevuudessa elementtien väliin (ks. kuva 25) ja siksi myös kulmatukimuurin siivet laskevat samassa suhteessa. Padon välitukirakenteen kokonaisleveys rakenteen poikkisuunnassa on noin 33 m ja sillan pituussuunnassa 11 m.

Kulmatukimuurielementtien perustamistasoksi tulee -4,6 kun pohjalaatan paksuus on 0,7 m ja seinän korkeus on 6,4 m. Elementit sijoittuvat poikittain settipatoon nähden ja niiden pohjalaatan pituus sillan pituussuunnassa on 5,7 m ja seinän leveys poikkisuunnassa noin 2,5 m. Alustavan mitoituksen mukaan edellä mainitut mitat riittäisivät takaamaan kulmatukimuurien stabiileetin liukumista ja kaatumista vastaan, kun mitoitus tehtiin käyttörajatilan kuormilla. Elementin paino on tällöin noin 45 tonnia. Elementit voidaan valaa murskeen tai louheen päälle, mikä lisää kitkaominaisuuksia pohjalaatan ja murskepatjan välissä. Tämän vuoksi mitoituksessa ei tarvitse huomioida kitkavoiman vähennyskerrointa.

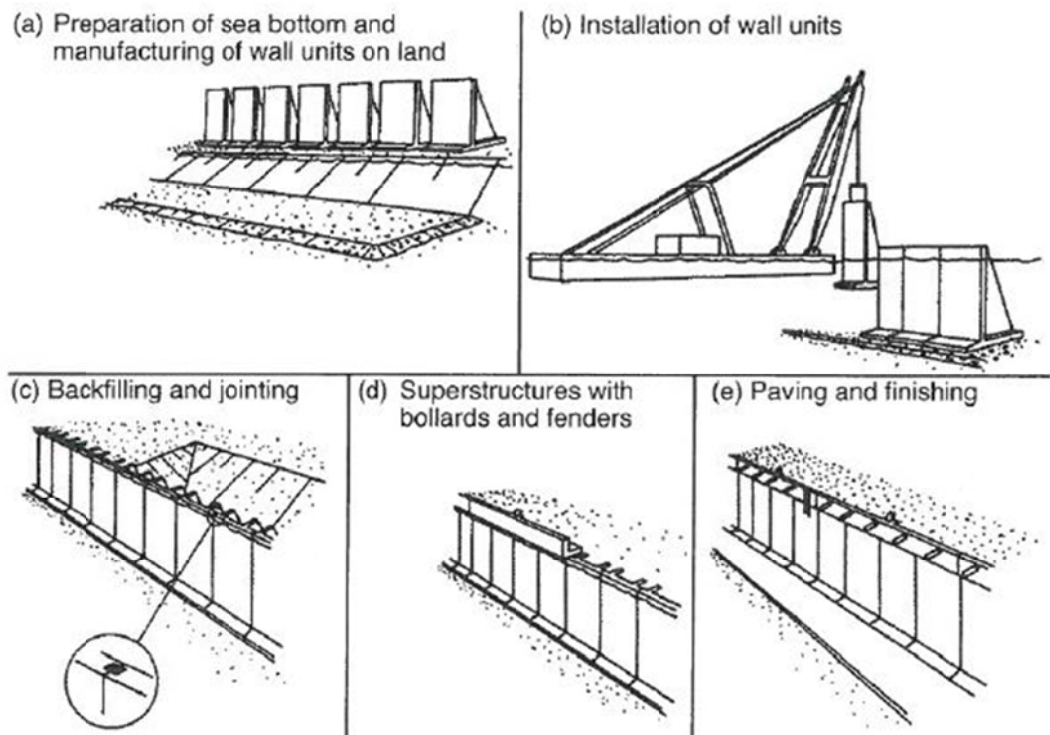


Kuva 25. Kulmatukimuureista ja penkereistä koostuvan patorakenteen poikkileikkaukset.

Elementit nostetaan proomulta pohjapenkereen päälle vierekkäin. Asennus on aina hieman epätarkkaa, sillä alustana olevassa louhepenkereessä on aina epätasaisuuksia. Hyvin tehty tasoitus ja tiivistys lisäävät tarkkuutta, mutta rakennuspaikalla olevat veden virtaukset voivat viedä kiviainesta mukanaan. Kulmatukimuurielementit ovat 7,1 m korkeita, ja pienetkin elementtien pohjalaattojen korkoerot aiheuttavat suuret hammastukset elementtien yläpäihin.

Tämän kosmeettisen haitan voi korjata valamalla yhtenäinen reunapalkki elementtien päälle, jolloin myös elementtien asennustoleranssi voi olla suurempi. Elementtien saumakohtat on joka tapauksessa suunniteltava siten, että täytösmateriaali pysyy seinän takana.

Kulmatukimuurirakenteen suuret mitat aiheuttavat alustavan laskelman mukaan suuremman betonimenekin kuin kasuunivaihtoehdossa. Tämän lisäksi muotti- ja raudoituskustannuksia kasvattaa se, että kulmatukimuurielementtejä on seitsemää erilaista kokoa. Useamman erilaisen elementin mitoittaminen ja suunnittelu vie myös enemmän aikaa, mikä lisää suunnittelun kustannuksia. Suunnittelu ei kuitenkaan välttämättä vie kokonaisuudessa enemmän aikaa kuin kasuuneista koostuvan padon suunnittelu. Suurempi betonimenekki tekee vaihtoehdosta kuitenkin taloudellisesti huonomman vaihtoehdon kuin kasuunirakenteinen pato.



Kuva 26. L-elementtirakenteisen satamalaiturin rakennusvaiheet. (Thoresen, C. A. 2010)

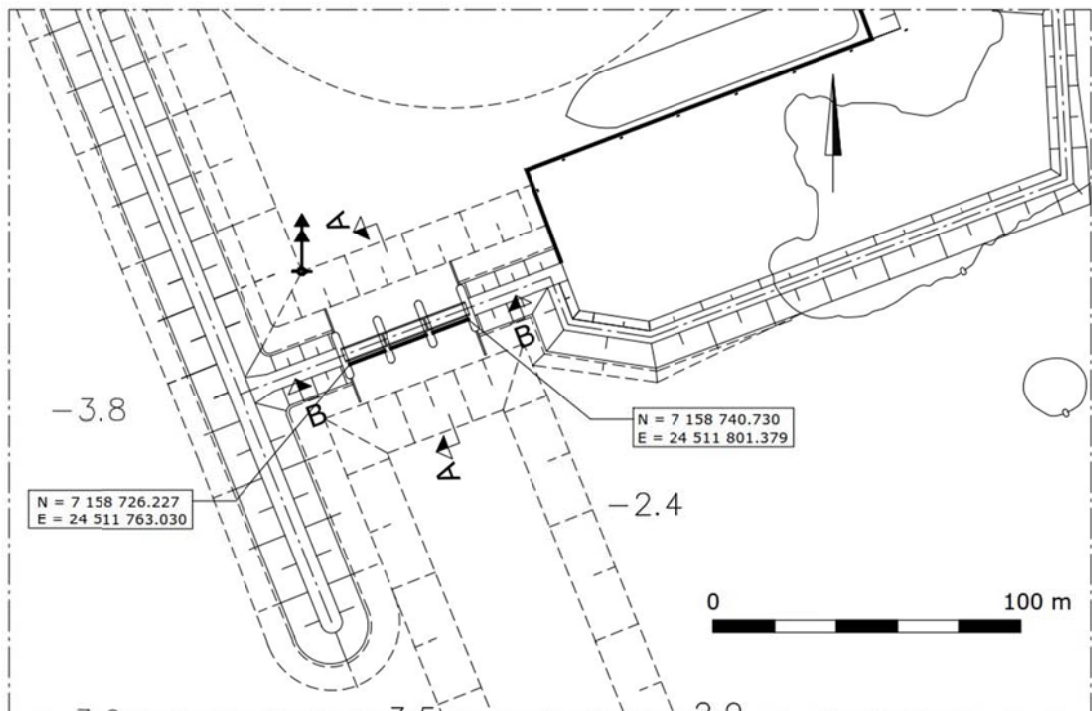
4.3 Tilapäisten työpatojen sisällä rakennettava betonipato

Tässä vaihtoehdossa padon rakennuspaikan ympärille rakennetaan väliaikaiset, vedenpitävät maa- tai louhevallit, jotka toimivat työpatoina. Työpatojen rakentamisen jälkeen vesi pumpataan pois maavallien sisältä, jolloin itse patorakenne voidaan rakentaa kokonaan paikan päällä kuivatyönä. Louheesta

koostuvat työpädat voisivat soveltua parhaiten käytettäväksi kohteessa, sillä siinä voitaisiin hyödyntää paikalta louhittua kiviainesta. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 72.)

Työpatojen onnistunut toteuttaminen vaatii aina suunnitelman, joka laaditaan lähtötietojen perusteella. Suunnittelua varten lähtötietoina pitäisi olla riittävät pohjatutkimukset, hydrologiset tiedot ja muut olosuhdeselvitykset. Työpadon rakenteelliseen suunnitteluun kuuluu työpadon poikkileikkauksen suunnittelu, stabiiliteetilaskut ja painumalaskut. Tärkeä seikka on huomioida pohjamaan laatu, tiiveys ja vedenläpäisevyys. Vesi voi suodattua padon alitse, mikäli asiaa ei ole huomioitu. Vesistön hydrologisiin tietoihin kuuluu virtaamat, vedenpinnan vaihtelut, tuuliolosuhteet sekä jäätyminen ja jäidenlähtö. Muita suunnittelussa huomioitavia asioita ovat työpadon rakentamisaika, valmiina oloaika, purku-aika ja purkamisaste, työpadon käyttö työmaatienä ja muut työpadon kuormitukset, vaadittava työskentelyaika padon sisällä sekä padon vuodoista ja ylivirtauksista aiheutuvien vahinkojen suuruus työn eri vaiheissa. (Kilpeläinen, Mustonen & Muurinen 1979, 95-96.)

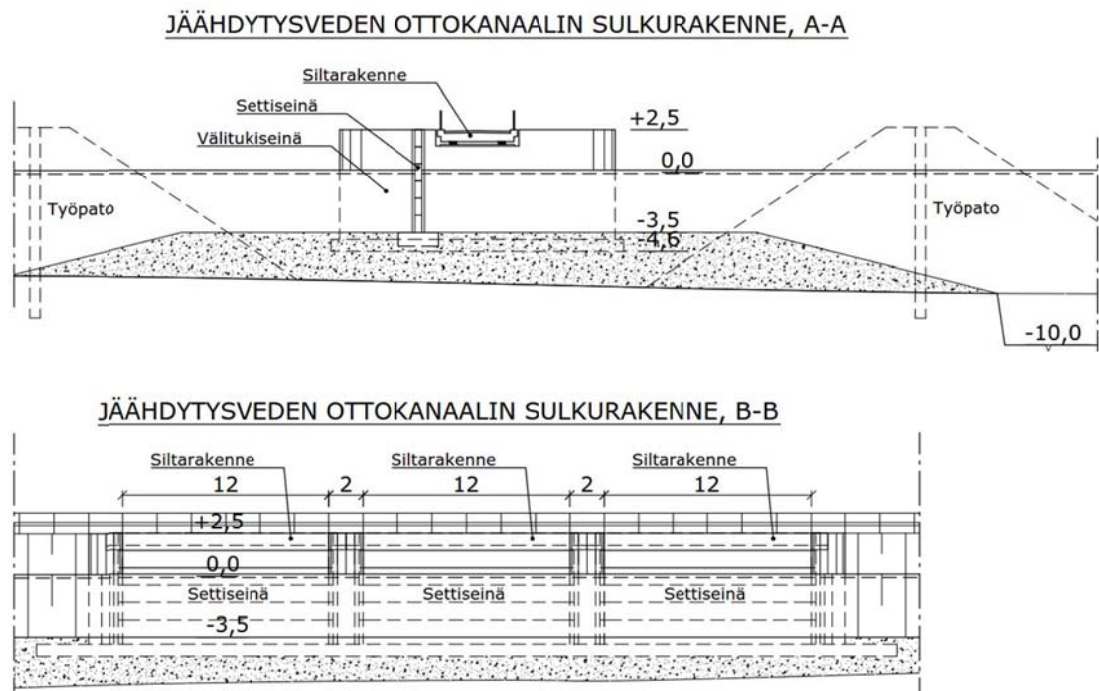
JÄÄHDYTYSVEDEN OTTOKANAALIN
SULKURAKENNE, ASEMPIIRUSTUS 1:1000



Kuva 27. Patovaihtohto, jossa on seinämäiset välituet ja rakentaminen tapahtuu työpatojen sisällä.

Kuivatyövaihtoehdossa satama-altaan pato voidaan toteuttaa betonirakenteena, jossa padon väli- ja päätytuet koostuvat kapeista ja pitkistä umpibetonisista seinistä. Tukien leveys on 2,0...3,0 m ja pituus noin 15,0 m. Padon massiivinen peruslaatta valetaan suoraan murskepatjan päälle koko padon pituisena ja väli- ja päätytuet valetaan laatan päälle. Väli- ja päätuet voidaan perustaa myös suoraan kallionvaraan niissä kohdin, missä kallionpinta on lähellä perustamistasoa. Seinä kiinnitetään kallioon ankkuritankojen avulla.

Kapeisiin väli- ja päätytukiseiniin kohdistuu pienempi jääkuorma kuin leveisiin kasuuneihin. Jääkuorma kerääntyy kuitenkin väli- ja päätytuille myös settiseiniltä, mikä edellyttää massiivisia tukirakenteita. Oletuksena jääkuorman kerääntymiselle settiseiniltä on tilanne, jossa settipalkit on jätetty talveksi paikalleen. Tukiseinien leveyden ollessa vähintään 2 metriä on tällöin myös siltakansien tukipinta riittävä laakerointia varten. Kapeista betoniseinistä koostuva settipato on myös yleinen rakenne settipadoissa maailmalla.



Kuva 28. Padon poikkileikkaukset. Seinien päätyjen pyöristykset vähentävät jääkuormaa.

Padon rakentamiseen työpatojen sisällä vaikuttaa useampi seikka. Näitä ovat rakentamistavan kustannukset, satama-altaan rakentamisaikataulu sekä rakennuspaikan pohjaolosuhteet. Satama-altaan ruoppaukset käynnistyivät vuonna 2015 ja ruoppausten jälkeen rakennuspaikalla alkavat vedenalaiset

louhinnat sekä aallonmurtajien rakentaminen. Kallio louhitaan satama-altaan puolella tasoon -10,0 ja padon eteläpuolella tasoon -6,0. Louhinnat ulottuvat lähelle patoa, minkä vuoksi väliaikaiset työpadot pitäisi rakentaa louhittujen alueiden päälle. Louhinnoista johtuen työpadot pitäisi lisäksi rakentaa normaallitilannetta korkeammaksi, mikä lisää kustannuksia. Satama-altaan ympärille rakennettavia aallonmurtajia ei myöskään voisi hyödyntää osana työpatoja, sillä niitä ei ole suunniteltu vedenpitäviksi. Tämän lisäksi väliaikaisten maanpenkereiden rakentamista ei ole huomioitu satama-altaan rakentamisaikataulussa.

Pato on rakenteeltaan toimiva vaihtoehto, mutta vaatii suuria betonivaluja eikä rakenteiden esivalmistusta päästä hyödyntämään. Rakennuspaikka on myös alttiina sääilmiöille koko rakentamisen ajan. Suurten kustannuksien ja aikatauluun tarvittavien muutosten takia ei vaihtoehto siten vaikuta kokonaisuudessaan perustellulta.

4.4 Rakenteen valinta

Patovaihtoehtojen vertailussa parhaaksi patovaihtoehdoksi varmistui settipato, joka koostuu kasuuneista ja settilankuista. Valittu rakenne on lähellä vuoden 2012 rakennetta, tietyin poikkeuksin. Vuoden 2012 versiossa kasuunit olivat pyöreät ja padon molemmissa päissä oli kulmatukimuurit kasuunien molemmin puolin.

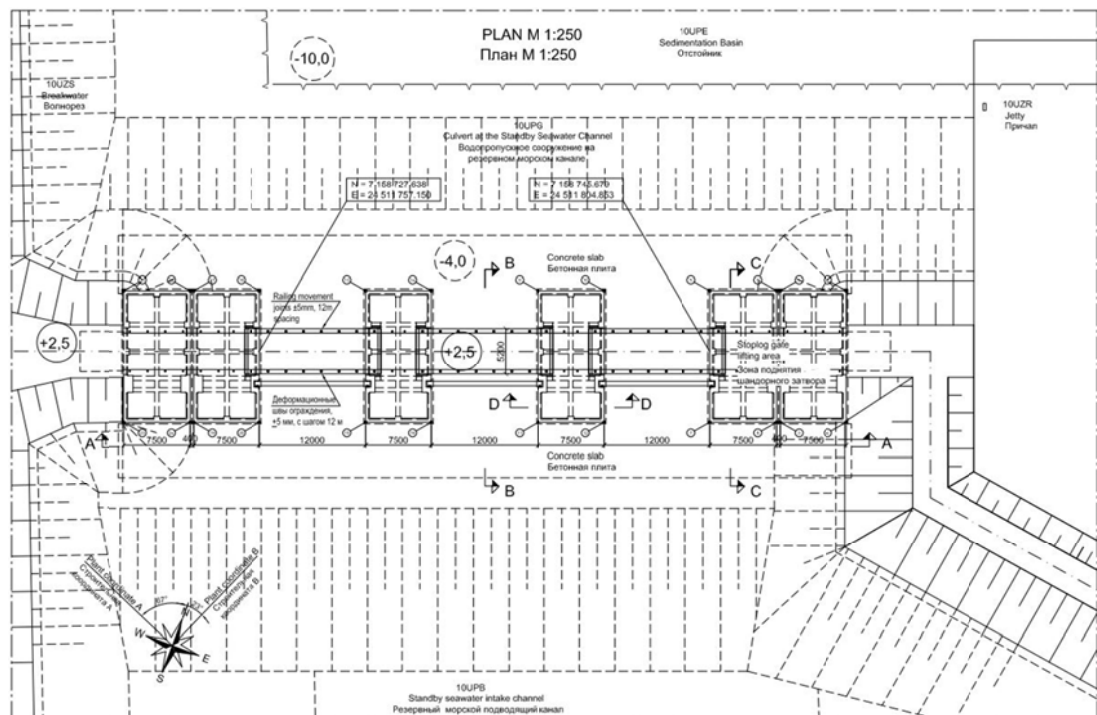
Kasuuneista päätettiin tehdä suorakaiteen muotoiset pyöreiden kasuunien sijaan. Suorakaiteen muotoisen rakenteen mitoittaminen oli selkeämpää ja rakenteesta, jossa on vakiopoikkileikkaus, pystyi myös tekemään helpommin massiivisemmän. Padon päihin tulevista kulmatukimuureista päätettiin myös luopua ja sen sijaan laittaa padon päihin tuplakuunit, eli kaksi kasuunia rinnakkain. Ratkaisu tehtiin, koska se oli välttämätöntä, jotta penkereen luiskat mahtuivat padon päihin. Syynä kulmatukimuureista luopumiseen oli pääasiallisesti projektin tiukka aikataulu, jonka takia ei olisi ehtinyt suunnitella sekä kasuuneita että kulmatukimuureja.

Padon suunnittelussa päätettiin pysyä alkuperäisessä ideassa padon rakentamisesta, jossa padon kasuunit rakennetaan kuivatelakalla tai vesillelas-

kuradan päässä ja uitetaan paikoilleen hinaajan avulla. Tämä rakentamistapa toimi jatkossa myös kasuunien rakenteellisen mitoituksen lähtökohtana.

4.5 Valitun settipatorakenteen kuvaus

Settipato toimii satama-altaan sulkurakenteena ja varajärjestelmänä. Settipato koostuu teräsbetonirakenteisista kasuuneista, jotka rakennetaan kuivatyönä (altaassa, proomun kannella tai luiskaradan yläpäässä) ja uitetaan paikoilleen. Padossa on kolme 12 m leveää virtausaukkoa, jotka suljetaan tarvittaessa teräsrakenteisilla settilankuilla. Kunkin virtausaukon leveys on noin 12,0 m ja korkeus 3,5 m. Kasuunien leveys on 7,5 m ja koko sulkurakenteen leveys on n. 82 m. Kasuuneissa on settiurat, joihin settilankut asennetaan. Kasuunien väliin aukon pohjalle ja settiurien kohdalle asennetaan kynnyspalkki, joka tiivistää settiseinän alapään. Padon molemmin puolin meren pohjaan tehdään eroosiosuojaus 6,0 m leveänä kaistana, esimerkiksi contractor-valuna. Sulkurakenteen yli rakennetaan silta, joka toimii ajoyhteytenä läntiselle aallomurtajalle. Sillan hyötyleveys on 4,3 m.

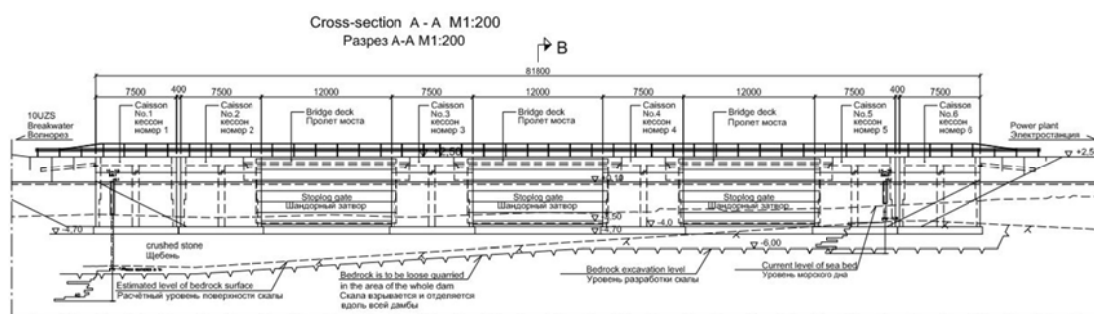


Kuva 29. Ote padon yleispiirustuksesta, joka laadittiin osana padon rakennesuunnitelmaa. Tasokuvassa näkyy padon kasuunit, siltakannet ja settiseinät.

Settipato toimii sulkurakenteena, joka pidetään normaalisti kiinni avoveden aikaan ja auki vain poikkeusoloissa jääkannen muodostuttua. Sulkurakenteen tarkoitus on estää sedimenttien kulkeutuminen satama-altaaseen, mikä olisi

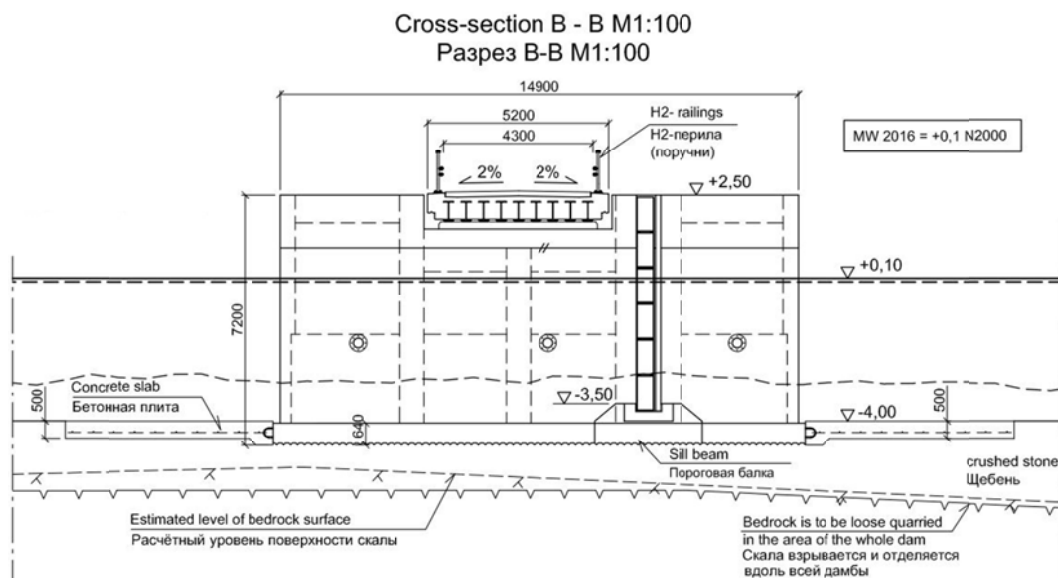
avoveden aikaan todennäköistä. Koko jäähdytysvesivirtaaman tullessa rakenteen läpi on virtausnopeus rakenteen kohdalla noin 0,5 m/s. Mikäli allas pidentään sulana talviaikaan, poistetaan ylimmät settilankut meren jääkannen muodostuessa, joten toispuolinen jäänpaine ei vaikuta lankkuihin eikä settiuran pieliin.

Varayhteyteen kuuluu 40 m leveä vedenalainen kanaali, joka lähtee padolta kaakkoon päin. Kanaalin pohja on vähintään tasolla -6,0 ja kanaali ulottuu noin 700 m päähän satama-altaasta etelään siten, että kanaalin lähtöpiste on saarten ja matalikon suojassa.



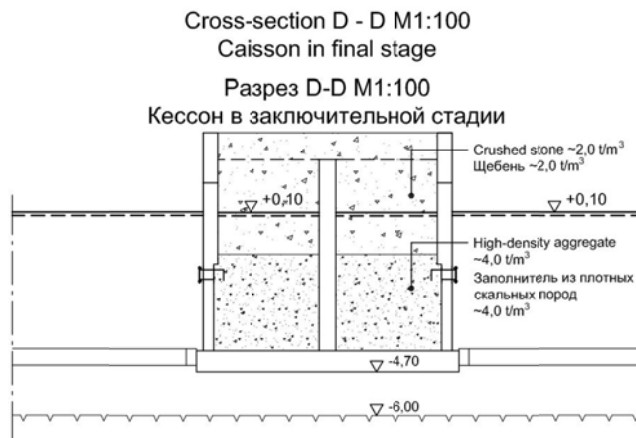
Kuva 30. Ote padon yleispiirustuksesta, pituusleikkaus A - A.

Vedenpintojen korkeusero padon eri puolilla ei käytännössä tule ylittämään arvoa 0,5 m johtuen muun muassa siitä, että satama-allasta ympäröiviä aallonmurtajia ei ole suunniteltu vedenpitäviksi. Vesi pääsee suodattumaan aallonmurtajien läpi eikä vedenpintojen korkeusero pääse syntyämään. Vesi pääsee lisäksi virtaamaan vapaasti satama-altaaseen pohjoisen virtausaukon kautta ja talvella myös padon virtausaukkojen kautta.

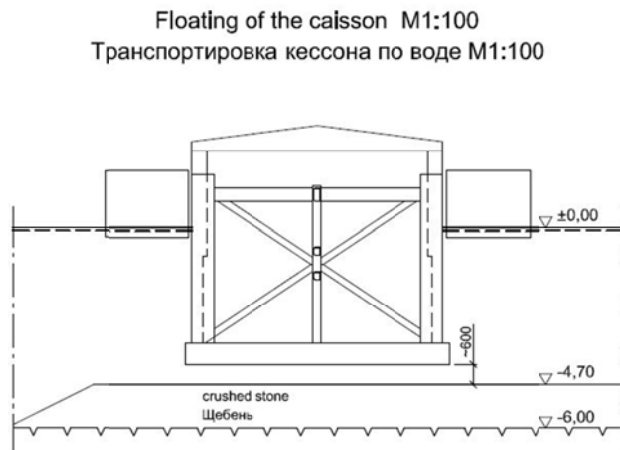


Kuva 31. Ote padon yleispiirustuksesta, padon poikkileikkaus B - B.

Pato toimii gravitaatiorakenteena, eli patorakenne vastustaa siihen kohdistuvia liu'uttavia sekä kaatavia voimia oman painonsa avulla. Patorakenne suunnitellaan niin massiiviseksi, että patoon kohdistuvat vaaka- ja pystykuormat eivät aiheuta siirtymiä. Gravitaatiorakenteessa rakenteen pohjan ja maa-aineksen välinen kitkavoima tulee olla suurempi kuin rakenteeseen vaikuttavien vaaka-voimien summa, riittäväällä varmuudella. Gravitaatiorakenteet voidaan perustaa kantavalle kitkamaalle tai kitkamaa- tai louhetäytölle. (Liikennevirasto 2013.)



Kuva 32. Ote padon yleispiirustuksesta, padon poikkileikkaus D – D.



Kuva 33. Ote padon yleispiirustuksesta, kasuunin uittaminen.

4.6 Pohjaolosuhteet ja perustaminen

Kallio irtilouhitaan koko padon alueelta. Kalliota pitää louhia ja räjäyttää myös niistä osista, joissa kallio nousee tasoa -6,0 N2000 korkeammalle. Pato perustetaan murskatun kiviaineskerroksen (louheen) varaan, joka tiivistetään ja ta-
soitetaan perustamistasoon -4,7 N2000. Tehtyjen tutkimusten mukaan me-

renpohjan pintakerros on hiekkaa, soraa ja moreenia. Alueen hieno hiekka liikkuu virtausten mukana. Kallionpinnan taso vaihtelee padon kohdalla välillä -3,4 m ...-7,6 m. Peruskallion yläpinnan taso patorakenteen kohdalla pitää varmistaa ennen kasuunien rakentamista.

Sulkurakenteen rakentamista ei kannata aloittaa, ennen kuin ruoppaustyöt on saatu valmiiksi. Sulkurakenteen tulee olla valmis ennen voimalaitoksen käyttöönottoa, mutta muuten se voidaan rakentaa sataman jo valmistuttua. Sulkurakenteen kohdalla tehtävät louhinnat on kuitenkin tehtävä ennen voimalaitoksen betonivalujen alkamista.

5 PADON RAKENNESUUNNITTELU

Padon rakennesuunnittelutehtävään kuului patorakenteen kasuunien, settipalkkien ja siltakansien suunnitteleminen ja mitoittaminen. Geotekniseen mitoittamiseen kuului pohjalaatan kantokestävyyden laskeminen. Kasuuni suunniteltiin siten, että se kestää siihen kohdistuvat uiton, asennuksen ja käytön aikaiset kuormitukset.

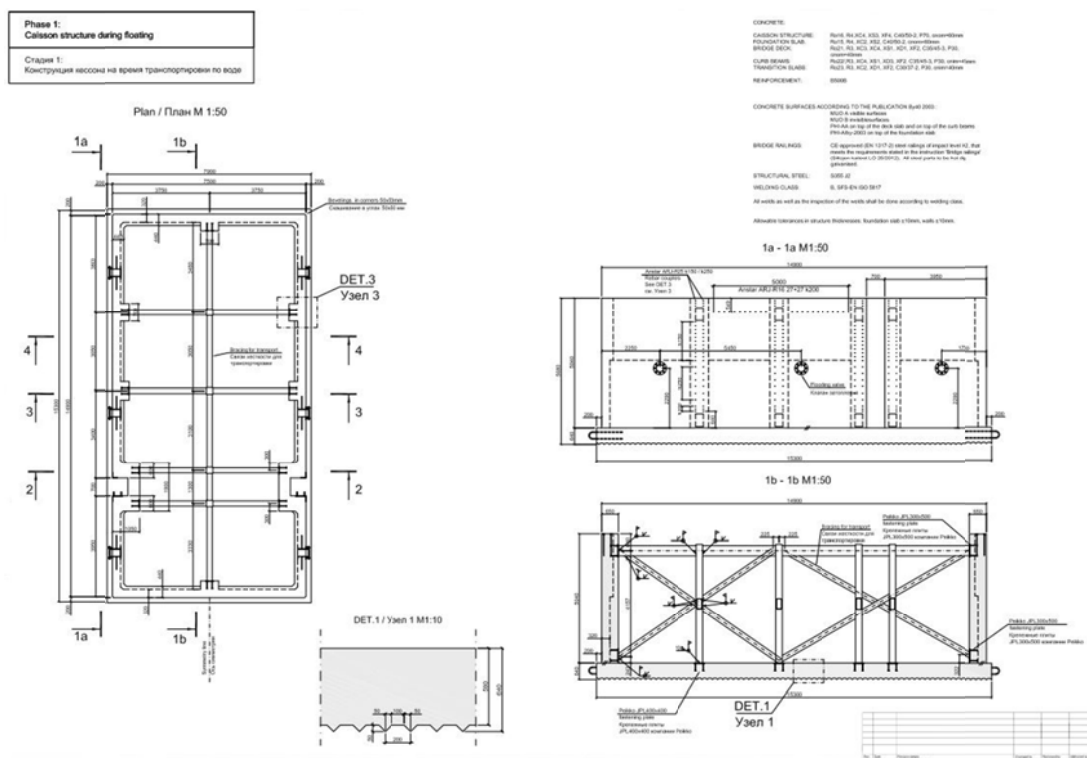
Rakennesuunnittelua ja mitoittamista varten laadittiin rakennelaskelmien A-osa, johon kirjoitettiin yleistiedot hankkeesta, kuvaus patorakenteesta sekä mitoitusperusteet. Mitoitusperusteisiin kirjattiin mitoituksessa käytettävät normit (standardit) ja suunnitteluohjeet, rakenneosien materiaalit ja laskentalujuudet, rakenteen suunnitteluikä, toteutusluokka, seuraamusluokka, materiaali-kohtaiset rasitusluokat, toleranssiluokka, geotekninen luokka, rakennuspaikkaluokka sekä padon eri rakenteisiin kohdistuvat kuormat.

Padon rakenteet mitoitettiin Eurokoodien mukaan. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka ovat käytössä EU:n jäsenmaissa. Eurokoodien pääosia on kymmenen kappaletta, joiden lisäksi on laadittu EU:n jäsenmaakohtaiset kansalliset liitteet. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

Käytetyimmät standardit mitoituksessa olivat Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu sekä Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Suunnittelussa käytettiin paljon myös Liikenneviraston Eurokoodin soveltamisohjeita NCCI2 ja NCCI7 sekä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisemia RIL-kirjoja.

Betonirakenteet mitoitettiin murto- ja käyttörajatilassa. Murtorajatilamitoituksessa tarkistettiin taivutus ja leikkaus ja mitoitettavasta rakenteesta riippuen myös terästen jännitykset. Käyttörajatilamitoituksessa tarkistettiin halkeamaleveydet, jotka olivat kasuunirakenteessa useimmiten mitoitettavia. Kasuunin teräsristikoiden mitoituksessa tarkistettiin sauvojen puristuskestävyys (normaalivoimakkestävyys), nurjahduskestävyys, taivutuskestävyys, leikkauskestävyys sekä yhdistetty taivutus ja puristus. Settilankkujen mitoituksessa tarkistettiin settilankun taivutuskestävyys, leikkauskestävyys sekä yhdistetty leikkaus- ja taivutuskestävyys. Kasuunin ja settilankkujen teräsrakenteet mitoitettiin poikki-leikkausluokassa 3.

Patorakenteen ja patoa ylittävän sillan rakennesuunnittelun tärkeimmät osalueet olivat rakennelaskelmien ja piirustusten laadinta. Rakennesuunnitteluun kuului myös rauditusluetteloiden sekä määrä- ja kustannusarvioiden laadinta. Padon ja sillan rakenteet laskettiin Eurokoodien mitoituskaavoilla ja laskelmat laadittiin MathCAD-laskentaohjelmalla. Voimasuurekuvaajat (rasitukset-kuviot) laadittiin JIGI FEM-ohjelmalla. FEM tulee sanoista ”FiniteElement Method” ja se on yleisnimitys tietokoneohjelmille, joiden avulla voi tehdä rakennemalleja ja laskea rakenteiden rasituksia ja kestävyyyksiä. Jigin statiikkamoduuli perustuu 3D-elementtimenetelmään ja mitoitusmoduulit perustuvat eurokoodin uunimpaan EN-versioon. (A & S Virtual Systems)



Kuva 34. Ote kasuunin mittapiirustuksesta.

Piirustukset laadittiin AutoCAD-ohjelmalla. AutoCAD on Yhdysvaltalaisen Autodeskin kehittämä ja julkaisema piirtämiseen ja 3D-mallintamiseen tarkoitettu ohjelma, josta on markkinoilla useita erilaisia versioita. Yleisimmät ovat perusversio AutoCAD sekä suppeampi versio AutoCAD LT. (Autodesk.)

Kaikki suunnitelmadokumentit laadittiin venäjäksi ja englanniksi. Käännökset venäjäksi teki ulkopuolinen kääntäjä ja englanninkielen käännöstyö tehtiin Sitossa.

5.1 Kuormitustapaukset ja stabiliteettitarkastelut

Padon mitoittamista varten laadittiin stabiliteetti- ja kuormitustapauslaskelmat. Laskelmien avulla varmistettiin padon stabiliteetti sekä selvitettiin mitoittavat kuormat, joiden avulla kasuunit ja settilankut pystyttiin mitoittamaan. Laskelmat laadittiin myös kasuunin uitosta ja upotuksesta raskasbetonikuutioiden avulla sekä kasuunin pohjalaatan kantokestävyydestä. Stabiliteettitarkasteluissa laskettiin kasuunin liukuminen ja kaatuminen. Kaatuminen tarkasteltiin vain kasuunin sivusuunnassa, jossa suurimmat vaikuttavat voimat ovat terminen jäänpaine ja reunakasuuneihin kohdistuva toispuoleinen maanpaine. Varmuudeksi kaatumista ja liukumista vastaan saatiin kaikissa laskuissa yli 1,5.

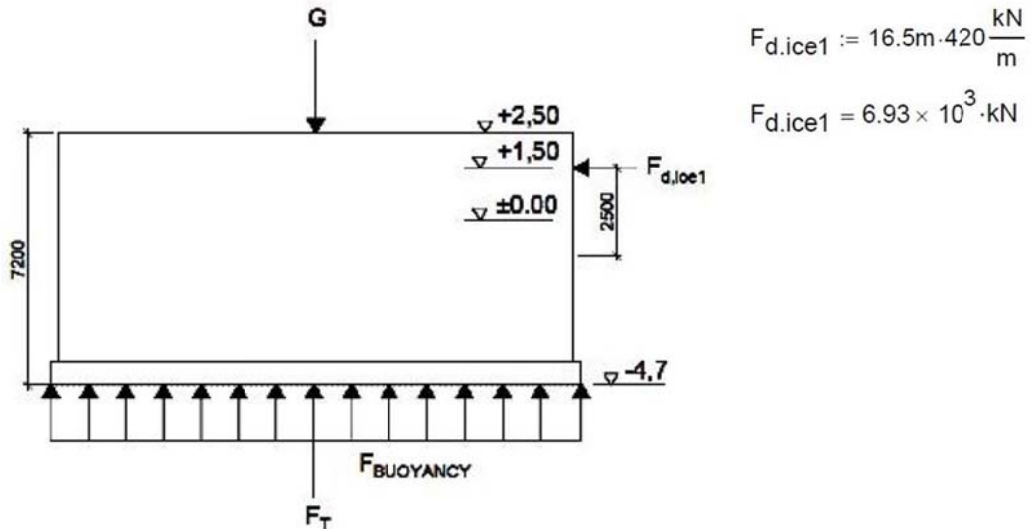
Laaditut laskelmat:

- Kasuunin kuljetus uittamalla
- Kasuunin upotus
- Vedenpaine kasuunin kuljetuksen aikana
- Ulkoinen maanpaine (lepopaine) ja liikennekuorma
- Kasuunin täytön paine (lepopaine) ja liikennekuorma
- Vedenpintojen korkeuserosta johtuva kuorma settilankuille
- Aaltokuorma settilankuille
- Terminen jäänpaine
- Jään aiheuttamat pystysuorat kuormat kasuunille, jään noste/roikkuminen
- Jäänlähdön aiheuttama sysäys
- Pohjalaatan kantokestävyys

Kasuunin stabiliteetin kannalta mitoittavaksi kuormaksi osoittautui terminen jäänpaine 420 kN/m (RIL 201-3-2013, 31), joka oli myös mitoittava kuorma seinien yläosille. Kasuunin stabiliteettilaskussa liukumista vastaan huomioitiin jääkuorman kertyminen myös settiseiniltä, mikä on nähtävissä kuvassa 35.

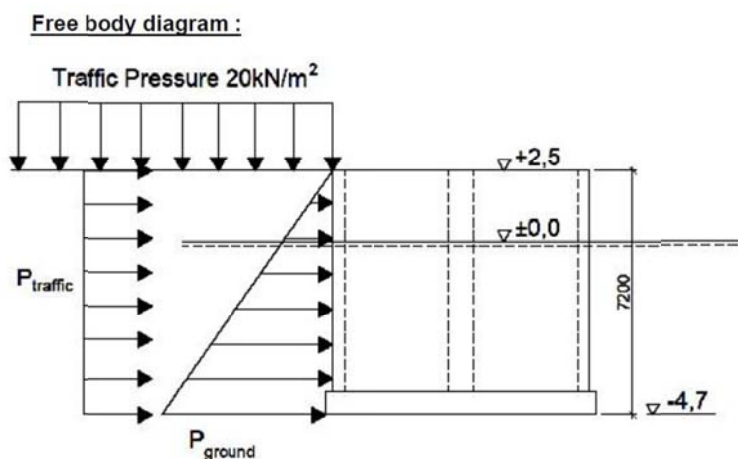
Uiton aikana kasuunin seiniin ja pohjalaattaan kohdistuu vedenpaine, mikä laskettiin mitoituksessa. Pohjalaatan yläpinnan terästen mitoituksessa vedenpaine oli mitoittava kuorma. Seinien alaosien mitoituksessa mitoittavaksi kuormaksi osoittautui kuitenkin maanpaineen aiheuttama kuormitus. Maanpaineet laskettiin lepopaineena. Reunakasuuneihin vaikuttava maanpaineen

vaakakomponentti laskettiin 7,2 metriä korkealle louhetäytölle. Hyötykuormana käytettiin 20 kN/m^2 liikennekuormaa, jonka aiheuttama vaakakomponentti laskettiin. Louheen leikkauskestävyyskulmana käytettiin 38 astetta ja tiheytenä 21 kN/m^3 .



Kuva 35. Kasuuniin stabiileettilaskussa liukumista vastaan huomioitiin termisen jäänpaineen kertyminen 16,5 metrin matkalta yhdelle kasuunille.

Kasuunien sisäpuolisen raskasmursketäytön aiheuttama vaakasuora maanpaine kasuunin seiniin laskettiin käyttämällä täyttömateriaalin parametreina tehokkaalle tilavuuspainolle 31 kN/m^3 ja leikkauskestävyyskulmalle 35 astetta. Hyötykuormana käytettiin ajoneuvonosturin tukijalan 500 kN kuormaa, joka jakaantuu yhdelle kasuunin lokerolle. Kuormitus syntyy, kun ajoneuvonosturi ajetaan kasuunin päälle settipalkkien nostoa varten. Sisäpuolisen täytön aiheuttama maanpaine laskettiin kokonaan käyttäen raskasmurskeen tilavuuspainoa (tiheyttä) ja täysmääräisenä ilman kasuunin lokerorakenteen huomioimista. Tämä toi mitoituseseen lisävarmuutta.

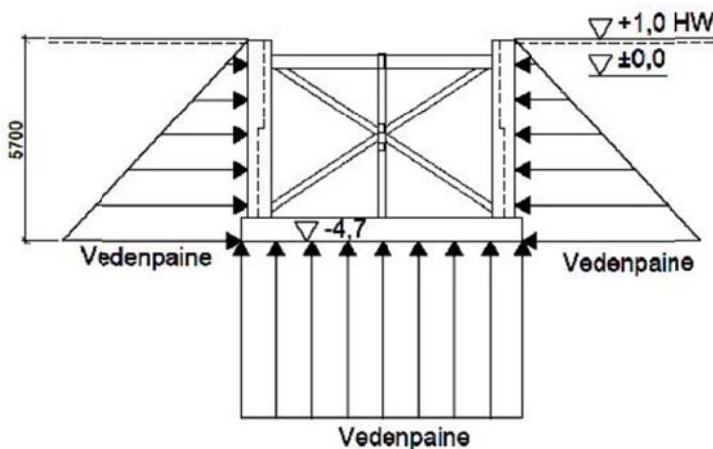


Kuva 36. Reunakasuuniin vaikuttava ulkoinen maanpaine (lepopaine) ja liikennekuorma.

Settilankkujen mitoittavaksi kuormaksi osoittautui aaltokuorma, joka aiheuttaa noin 44 kN/m tasaisen kuorman yhdelle settilankulle. Vedenpintojen korkeuserosta johtuva kuorma settipalkille laskettiin 2,5 metrin vedenpintojen korkeuserolla.

Vaikka kasuuni on betonirakenteisena hyvin raskas, on sen uittaminen mahdollista Arkhimedeen lain mukaisesti: Arkhimedeen lain mukaan nesteeseen upotettuun kappaleeseen vaikuttaa ylöspäin suuntautuva voima eli noste, joka on yhtä suuri kuin kappaleen syrjäyttämän nesteen paino. Suunnittelussa kasuunin ulkomitat ja uiton aikainen kokonaispaino suunniteltiin sellaiseksi, että kasuunin uintisyvyys oli sopiva ja uittovakavuus hyvä. Kasuunin uintisyvyys suunniteltiin sellaiseksi, että kasuuni voidaan hinata pohjapenkereen päälle, jonka yläpinta tulee tasolle -4,7 m. Kasuuni upotetaan lastaamalla sen sisälle raskasbetonista valettuja betonikuutioita, jotka voidaan jättää kasuunin sisälle. Kasuunin tulee upotuksen jälkeen kestää siihen kohdistuvaa aaltokuormaa, mikä määrittä upotukseen tarvittavien betonikuutioiden määrän.

Free body diagram :



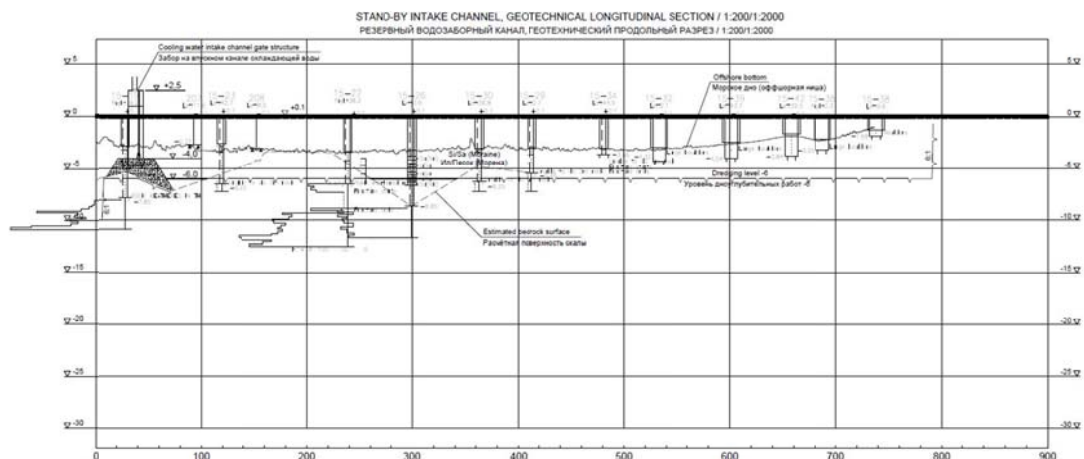
Kuva 37. Vedenpaine kasuunin kuljetuksen aikana. Vedenpaine on laskettu kasuunin koko korkeudella.

Pohjalaatan kantokestävyys laskettiin Eurokoodi 7:n kaavan D.2 mukaisesti. Laskelmassa huomioitiin nosteen vaikutus louheesta rakentuvan pohjakerroksen tilavuuspainoon ja laskelmassa käytettiin louheen tehokasta tilavuuspainoa 12 kN/m^3 veden alla. Leikkauskestävyysskulmana käytettiin 38 astetta. Pohjapenger rakennetaan louheesta irtilouhitun kallion päälle ja se voidaan tiivistää pudotustiivistämällä. Louhepenkereen kantavuus on erittäin hyvä ja painumien riski pieni.

5.2 Lähtötietojen käsittely, padon perustaminen sekä pohjaolosuhteet

Tärkeimpänä lähtötietona rakennesuunnittelulle oli patorakenteen yleissuunnitelma, joka oli laadittu Sito Oy:ssä vuonna 2012. Lisäksi suunnittelun lähtöaineistona oli käytettävissä alueen väyläsuunnitelman yleiskartta 1:2000, väyläsuunnitelmapiirustus 1:500/1:5000, Työvaihepiirustus 1:5000 sekä suunnitelmaselostus patorakenteesta ja sillasta. Piirustukset olivat osa vesilupapiirustuksia, jotka oli laadittu vesilupahakemusta varten vuonna 2012. Vesilupapiirustuksiin kuului lisäksi suuri joukko muita rakennepiirustuksia sekä geoteknisiä piirustuksia.

Geotekniset poikkileikkaukset padon rakennuspaikalta saatiin lähtötietoina Siton geosuunnitteluosastolta. Geopoikkileikkauksia oli neljä: yksi pituusleikkaus padon keskilinjalta sekä kolme poikkileikkausta. Padon rakennuspaikalla oli tehty vain kolme kairausta, joten tiedot pohjaolosuhteista olivat jossain määrin epävarmat. Poikkileikkauksissa ei esimerkiksi ollut maalajirajoja näkyvissä, mutta niissä oli kuitenkin esitettyä maanpinta (merenpohjanpinta) ja kallionpinta, joten niitä pystyi käyttämään suunnittelussa. Lisäksi ne olivat ainoat käytettävissä olevat tiedot, joten niitä piti käyttää. Muutaman kairauksen perusteella piirretyt kallionpintaviivat antavat parhaimmillaankin kuitenkin vain viitteen, missä tasossa kallio sijaitsee. Tämän vuoksi projektin suunnittelulaverissa päätettiin, että ennen rakennustöiden aloittamista edellytetään lisää pohjatutkimuksia rakennuspaikalta.



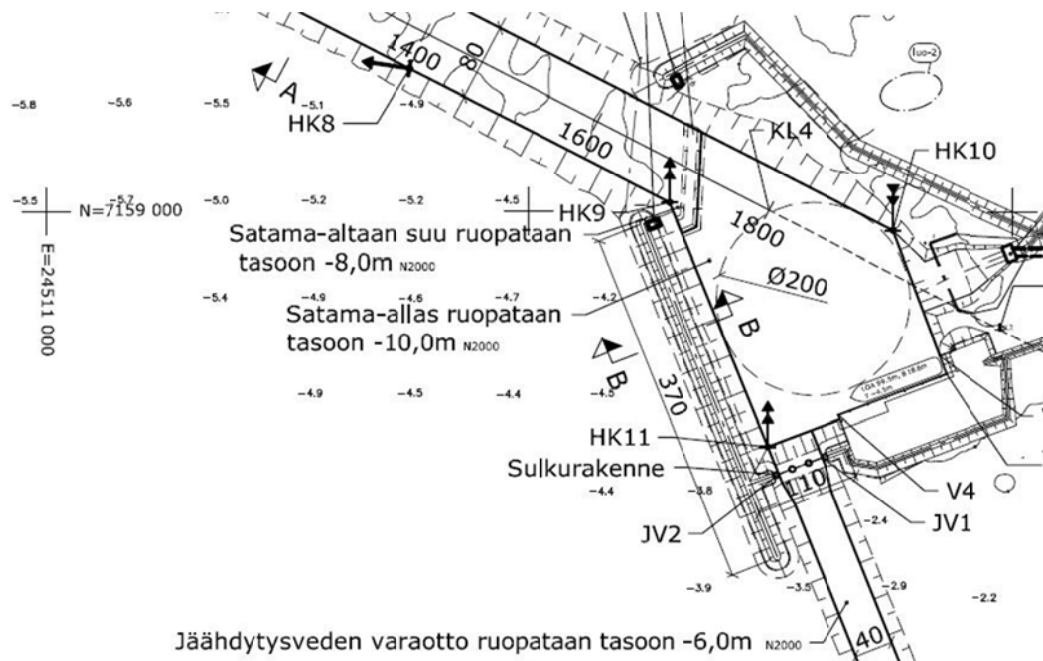
Kuva 38. Ote jäähdytysveden ottokanaalin geoteknisestä poikkileikkauksesta. Patorakenne näkyy kuvan vasemmassa reunassa.

Pato perustetaan louherakenteisen pohjapenkereen päälle. Louhepenkereen kantavuus on erittäin hyvä ja painuminen on hyvin vähäistä. Louhetta tai

murskattua kiveä piti arvion mukaan olla ainakin metrin kerros kasuunien alla. Suunnittelun alkuvaiheessa geosuunnittelija ehdotti, että kallio louhitaan padon kohdalla tasoon -6,0, sillä ympäröivät louhinnat tehtäisiin kyseiseen korotukseen. Kyseinen louhintataso sopi myös padon kohdalle, sillä louhetta tuli silloin 1,3 m kerros kasuunien alle.

Koska pato toimii gravitaatorakenteena, oli tärkeää että kasuunien ja louheen välissä on hyvät kitkaominaisuudet. Tätä tarkoitusta varten kasuunien pohjaan suunniteltiin hammastukset, jotka paransivat kitkaa. Toinen huomioitava asia oli kiviaineksen mahdollinen liukuminen sileää kallionpintaa pitkin. Kalliota oli alun perin tarkoitus louhia vain niiltä osin, joissa kallio nousee tasoa -6,0 N2000 korkeammalle, eli kalliota ei olisi louhittu koko padon alueelta. Mikäli kallio on hyvin sileää, on periaatteessa mahdollista, että kasuunin alla oleva murskepatja lähteä liukumaan kasuunin mukana. Riskin vähentämiseksi suunnitelmiin päätettiin merkitä, että kallio irtilouhitaan koko padon alueelta.

Suunnitelma laadittiin ETSR-GK24 koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään N2000. Satama-altaan kulkusyvyiden määrittelyssä vertailutasona käytettiin Raahen teoreettista keskivedenkorkeutta MW2012, jonka nollakohta on 0,1 m ylempänä kuin N2000 nollakohta (syvyys 6,1 m MW2012 vastaa tasoa -6,0 N2000).

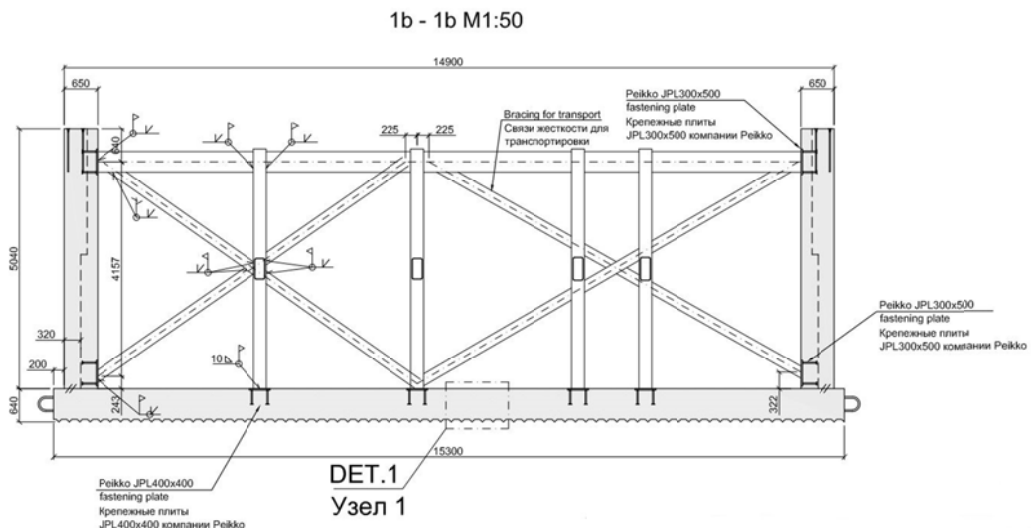


Kuva 39. Ote lähtötietona olleesta väyläsuunnitelmapiiirustuksesta.

5.3 Kasuunien mitoitus

Kasuuneissa oli useita mitoitettavia rakenneosia: peruslaatta, kasuunin seinät, seinien pilasterit, kuljetuksen aikaiset teräsristikot, väliseinät sekä laakeripalkki. Mitoituksen lähtökohtana oli se, että kasuunit rakennetaan kuivatelakalla tai luiskaradan päässä ja uitetaan paikoilleen hinaajan avulla. Tämä asetti vaatimuksia kasuunin rakenteelle ja painolle, jotta rakenne pysyy pinnalla uiton ajan.

Suunnittelutyö alkoi kasuunien mittojen valitsemisesta. Padon kulkuaukkojen vesisyvyudeksi oli määrätty 3,5m, jonka mukaisesti padon perustamistasoksi valittiin -4,7m. Padon yläpinnan tasoksi oli määrätty +2,5m, eli kasuunien korkeudeksi tuli 7,2m. Kasuunin leveydeksi valittiin 7,5m, koska silloin kasuunin päädyn muoto olisi lähellä neliön muotoa. Neliön muoto valittiin, koska kasuunista saisi tällöin helposti vakaan kaatumista vastaan. Kasuunin pituudeksi valittiin kaksi kertaa kasuunin leveys. Tälle valinnalle oli perusteena se, että kasuunin sisään tulevat lokerot oli silloin helpompi toteuttaa ja myös mitoittaa. Lisäksi siltakannen pystyi helpommin sijoittamaan kasuunien päälle, kun kasuuni oli pitkä. Betoniksi valittiin C40/50-2, P70, Ro16, R4, XC4, XS3, XF4 ja betonipeitteen paksuudeksi 60 mm sadan vuoden käyttöiällä.



Kuva 40. Ote kasuunin mittapiirustuksesta. Kuvassa näkyy kasuunin kuljetuksen aikainen rakenne.

Siltakannen sijainnin ja kasuunin sisäväliseinien sijaintien suunnittelemiseen oli pitkä prosessi, ja suunnittelussa kesti kauan ennen kuin niiden sijainti saatiin lyötyä lukkoon. Siltakannen, väliseinien ja settiurien sijainnit vaikuttivat kaikki toisiinsa, mikä teki suunnittelutyöstä haastavan. Suunnittelun alussa sisäväliseinien

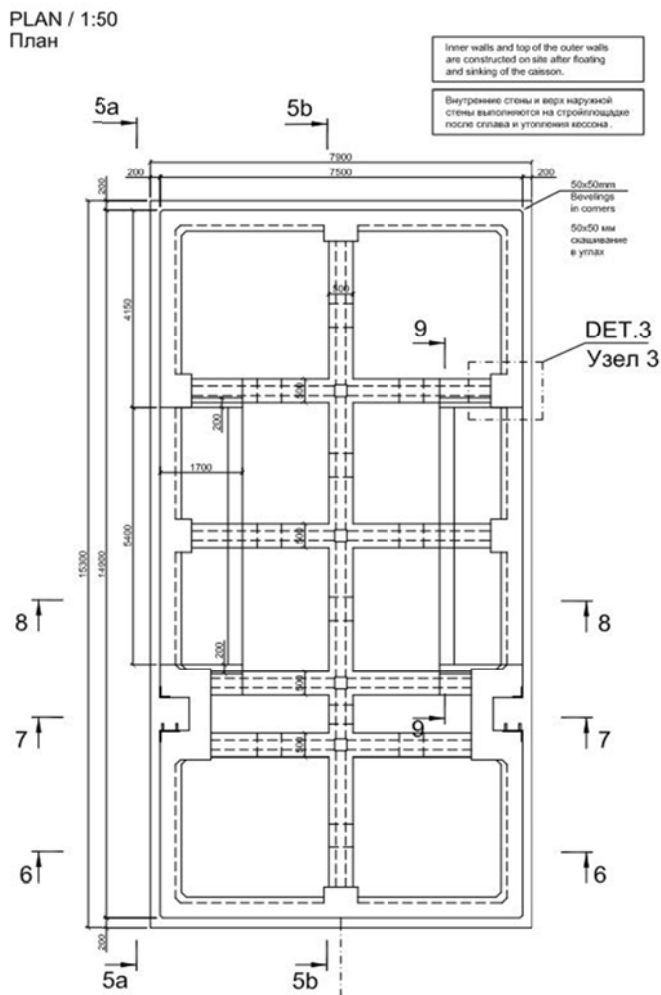
liseinistä oli tarkoitus tehdä elementtirakenteiset, mutta projektin kiireellisen suunnitteluaiakataulun takia ajatuksesta luovuttiin ja seinät päätettiin tehdä paikkallavalurakenteena. Suunnitelmiin tehtiin myös paljon muita muutoksia suunnittelun aikana, minkä takia myös piirustukset ja laskelmat piti laatia moneen kertaan. Kasuunin pituudeksi tuli lopulta 14,9 m useiden seinän siirtojen ja moneen kertaan piirrettyjen kuvien jälkeen.

Suurimman haasteen suunnitelmalle asetti se, että kasuunien seinien piti kestää 420kN/m jääkuorma, mutta samalla kasuunin piti olla riittävän kevyt, jotta sen saattoi uittaa paikoilleen. Toisin sanoen kasuunin piti kellua alle 4,7m syvyydessä, jotta sen saattoi kuljettaa pohjapenkereen päälle ja upottaa paikoilleen. Alustavassa mitoituksessa kasuunin seinien paksuudeksi valittiin 440mm. Laskelmien mukaan seinä kesti jääkuorman tällä paksuudella, halkeamaleveyden ollessa mitoittavana. Jääkuorma ei kohdistu kasuunin seinien alaosiin, vaan mitoittavana kuormana on kasuunin täytön aiheuttama maanpaine ja lisäksi nosturin tassukuorman aiheuttama paine. Alustavan laskelman mukaisesti seinän alaosan paksuudeksi valittiin 320mm. Seinää ei olisi voinut tehdä kokonaan 440mm paksuna, koska kasuuni ei pysyisi tällöin pinnalla. Kasuunin uintisyvyys laskettiin Arkhimedeen lain avulla. Suunnittelussa päädyttiin siihen lopputulokseen, että kasuunin seinien yläosat ja myös väliseinät pitää valaa vasta kun kasuunit olisi uitettu ja upotettu lopulliseen sijaintiinsa. Ilman tätä ratkaisua kasuuni olisi liian painava eikä pysyisi pinnalla. Tämä lisäsi mitoitusyötä, sillä kasuunin sisälle piti suunnitella teräsrakenteiset tukirakenteet, jotka pitäisivät kasuunin kasassa uiton ajan. Tätä varten kasuunin sisälle suunniteltiin teräsristikot, joka estää uiton aikana vedenpaineen painamasta kasuunin seiniä sisään. Teräsristikoiden rakenne näkyy kuvassa 40.

Kasuuneita talvella kuormittava terminen jäänpaine 420kN/m syntyy meren jääpeitteen laajetessa. Talvella lämpötilan alkaessa nousta pakkasjakson jälkeen meren pinnalla oleva jää alkaa laajentua, mikä aiheuttaa vaakasuuntaisen terminen jäänpaineen. Meri jäätyy talvella patorakenteen ympäriltä, jolloin terminen jäänpaine aiheuttaa vaakavoiman kasuuneihin ja pyrkii liikuttamaan niitä.

Padon ylläpitosuunnitelmaan kuuluu se, että kanava-aukkojen settilankut nostetaan talvella pois, jotta jääkuormat eivät riko niitä. Tämä tarkoittaa samalla

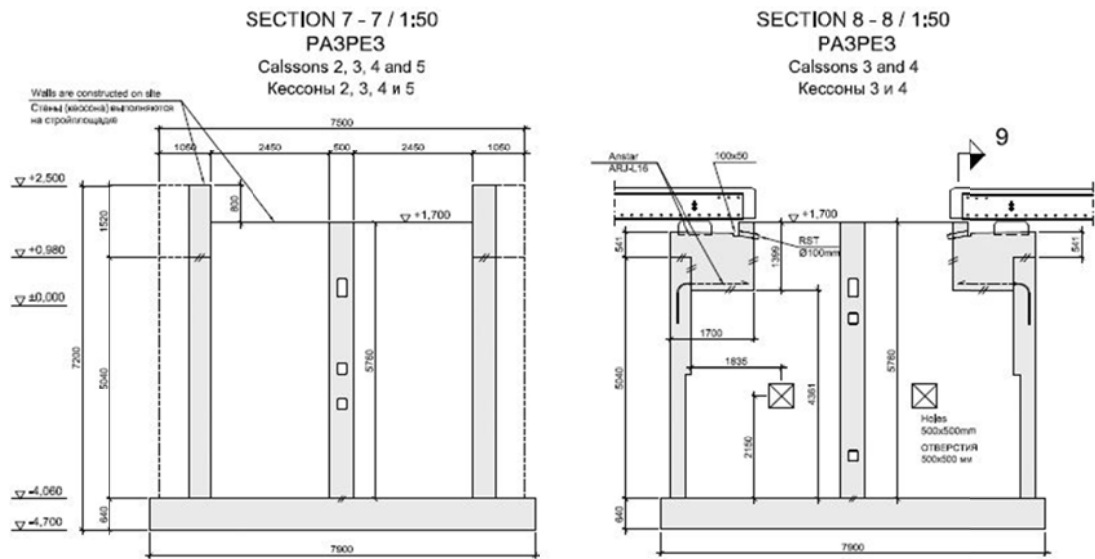
myös sitä, että jääkuorma ei kerääny settilankuilta kasuuneille eikä siten kasvata vaakakuormaa. Suunnittelun lähtökohtana oli kuitenkin varmuuden vuoksi tilanne, jossa settilankut ovat paikoillaan ja niiltä tulee jääkuormaa kasuuneille. Tämä tilanne on mahdollinen, jos jonain talvena settilankkuja ei nosteta pois vaan ne jäävät paikoilleen, mikä voi olla mahdollinen skenaario. Tällöin termisen jäänpaineen settilakuille aiheuttama kuorma siirtyisi kasuuneille ja aiheuttaisivat huomattavan lisäkuorman, joka kasuunien pitäisi kestää ilman että rakenne lähtisi siirtymään tai kaatumaan. Koska patorakenne on gravitaattiorakenne, ainoa jääkuormaa vastustava voima on kitkavoima, joka saadaan kertomalla kasuunin paino alustan kitkakertoimella. Kitkakerroin taas saadaan laskemalla louheen kitkakulmasta tangentti.



Kuva 41. Ote kasuunin mittapiirustuksesta, tasokuva. Kuvassa näkyy kasuunin lopullinen rakenne.

Padon stabiliteettilaskelmien laadinnassa havaittiin, että kasuunista ei tulisi riittävän painava, jos se täytetään louheella, jonka tilavuuspaino on 18kN/m^3 . Louheen tilavuuspainoa vähentää myös veden aiheuttama noste, jolloin lou-

heen tehokas tilavuuspaino veden alla on arviolta 11kN/m^3 . Jääkuorman aiheuttama vaakavoima oli suurempi kuin kitkavoima. Tämä tarkoittaa sitä, että kasuuni siirtyy eli lähtee teoriassa liikkeelle.

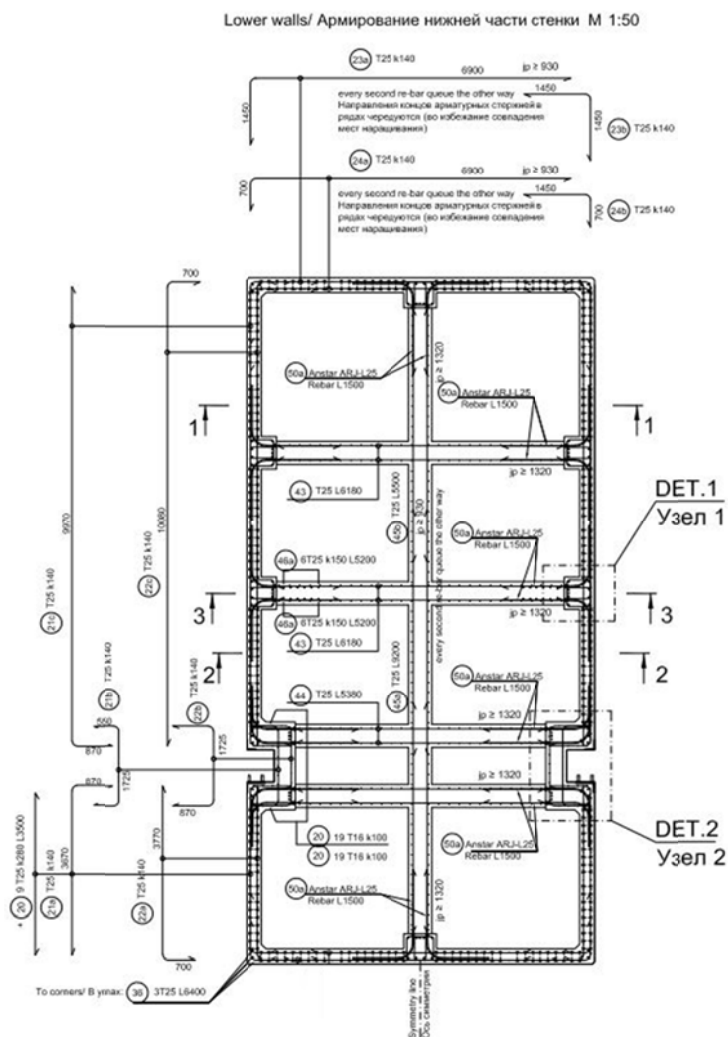


Kuva 42. Ote kasuunin mittapiirustuksesta. Kuvassa on kasuunin lopullisen rakenteen poikki-leikkauksia. Siltakansien päät näkyvät oikeanpuoleisessa leikkauksessa.

Ratkaisuksi ongelmaan kehitettiin raskasmurskeen hyödyntäminen kasuunien täyttämässä. Raskasmurske on irrallaan myytävää murskettä, jota voidaan käyttää sinällään esimerkiksi painolastina tai kiviaineksena betonissa. Raskasmurskettä valmistaa ruotsalainen LKAB Minerals Oy ja sitä voidaan kuljettaa Suomeen laivalla tai kuorma-autoilla. Raskasmurskettä voidaan käyttää myös raskasbetonin valmistamiseen, jossa betonin kiviaines korvataan raskasmurskeella. Raskasbetonin tilavuuspaino on $n.40\text{kN/m}^3$, eli se on huomattavasti painavampaa kuin tavanomainen louhe tai betoni. Louheen tilavuuspaino on noin 18kN/m^3 ja betonin noin 25kN/m^3 . Raskasmurskeen kiviainesta louhitaan Pohjois-Ruotsista Kiirunasta. Kiviaines on rautapitoista mikä tekee siitä normaalia kiviainesta raskaampaa. (LKAB Minerals Oy.)

Laskelmien mukaan noin kolmen metrin kerros raskasmurskettä kasuunien pohjalla ja loppuosan täyttäminen louheella riitti takaamaan kasuunin stabiiliiteetin. Mitoituksessa käytettiin raskasmurskeen tehokasta tilavuuspainoa veden alla, joka on noin 31kN/m^3 (LKAB Minerals Oy). Raskasmurske on huomattavasti kalliimpaa materiaalia kuin normaali kiviaines. Laaditun kustannusarvion mukaan raskasmurskeen osuus padon kokonaiskustannuksesta oli yli 10 prosenttia. Toinen vaihtoehto, joka olisi ollut kasuunien pituuden kasvattaminen, olisi ollut kuitenkin vielä huomattavasti kalliimpi ratkaisu.

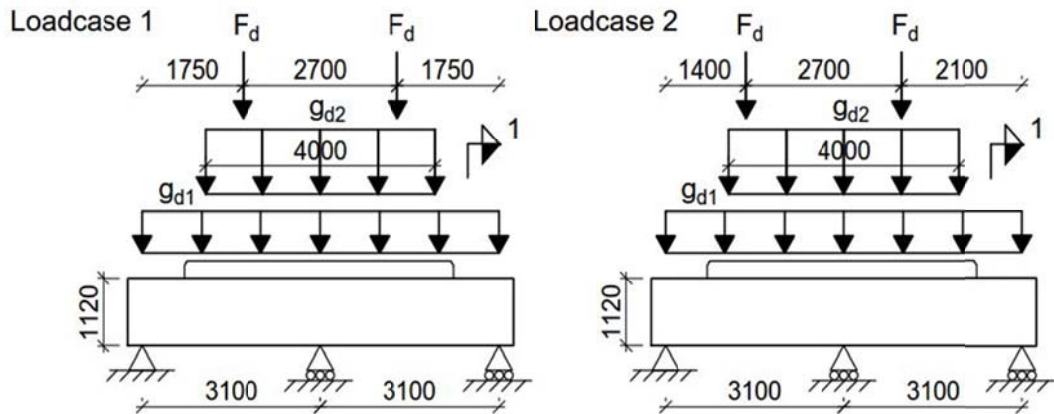
Kasuunin peruslaatan rakennemalli on kahteen suuntaan kantava laatta, jolle kuormat siirtyvät kasuunin seiniltä, jotka taas toimivat seinämäisinä palkkeina välittäen sekä pysty että vaakakuormaa pohjalaatan tasolle ja edelleen maaperään. Poikittaissuuntaiset teräkset laskettiin kuitenkin yksiaukkoisena palkkina ja pituussuunnan teräksinä käytettiin poikittaissuunnan teräsmäärää. Pituussuunnan taivutusmomentti on pienempi, joten mitoitus meni varmalle puolelle. Peruslaatan alapinnan teräkset määräytyivät kasuunin upotuksen aikaisista kuormista (vedenpaine, laatan omapaino ja upotukseen tarvittavat painot), ja laatan yläpinnan teräkset määräytyivät kasuunin uiton aikaisista kuormista (vedenpaine ja laatan omapaino).



Kuva 43. Ote kasuunin raudituspiirustuksesta, tasokuva.

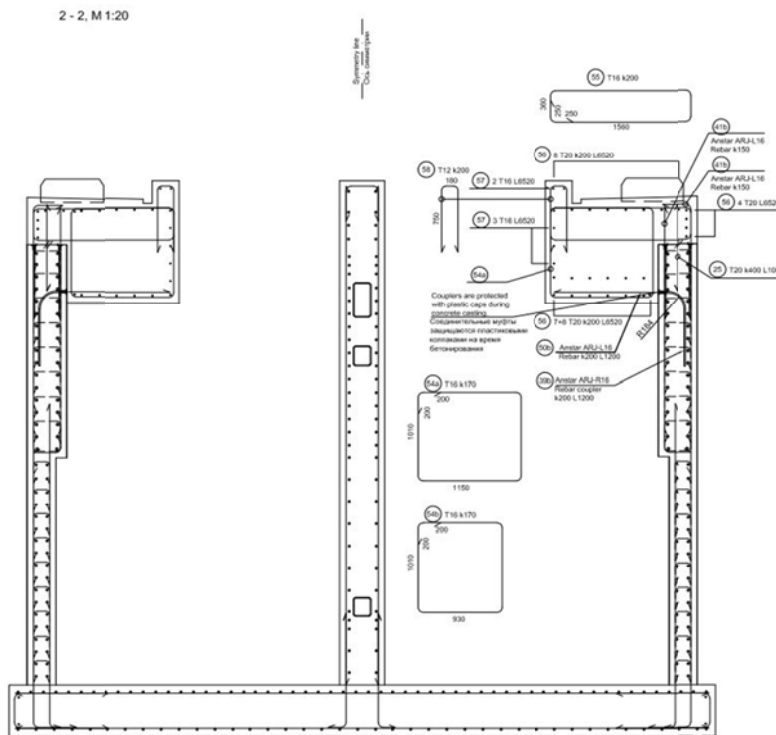
Kasuunin seinät mitoitettiin jatkuvana palkkina, jossa kasuunin pilastereihin kohdistuu seinälohkojen tukireaktiot. Mitoituksessa käytettiin pisimpiä jännevälejä eli päätyseinän jännemittoja 3,6 + 3,6m, jatkuvana palkkina. Pääteräkset jatkuvat yhtenäisinä kaikissa seinissä. Laakeripalkit mitoitettiin siltakannelta

tuleville kuormille, joita ovat siltakannen omapaino ja liikennekuorma. Myös laakeripalkin omapaino otettiin huomioon.



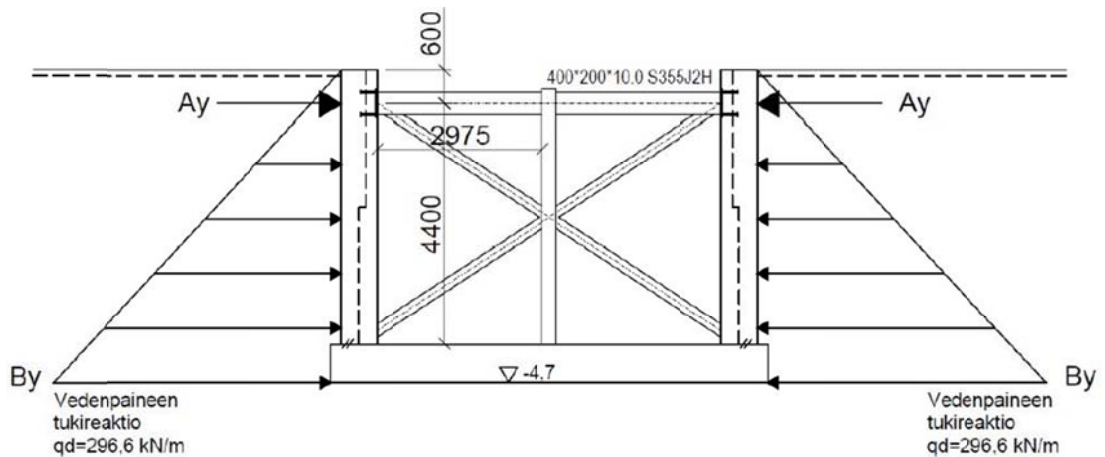
Kuva 44. Laakeripalkin mitoituksessa käytetyt kuormitustapaukset, joissa siltakannella olevan ajoneuvon akselikuorma sijoittuu eri kohtiin laakeripalkkia.

Kasuunin väliseinät mitoitettiin puristettuna, raudoittamattomana rakenteena, jonka normaalivoimakestävyyden tarkistettiin. Väliseiniä kuormittaa nosturin tukijalan 500 kN pistekuorma, kun kasuunin päälle ajetaan nosturi, jolla settilankut nostetaan pois. Laskelmassa tarkistettiin seinän nurjahduskestävyys, kun kuorma kohdistui seinään epäkeskisesti. Seinä kesti laskelman mukaan kuormituksen raudoittamattomana, mutta seinän raudoitukset määrittivät vaakasuuntainen terminen jäänpaine, joka aiheuttaa sisäseiniin vetorasitusta ja taivutusta jään laajetessa.



Kuva 45. Ote kasuunin raudoituspääruuduksesta, poikkileikkaus siltakannen kohdalta.

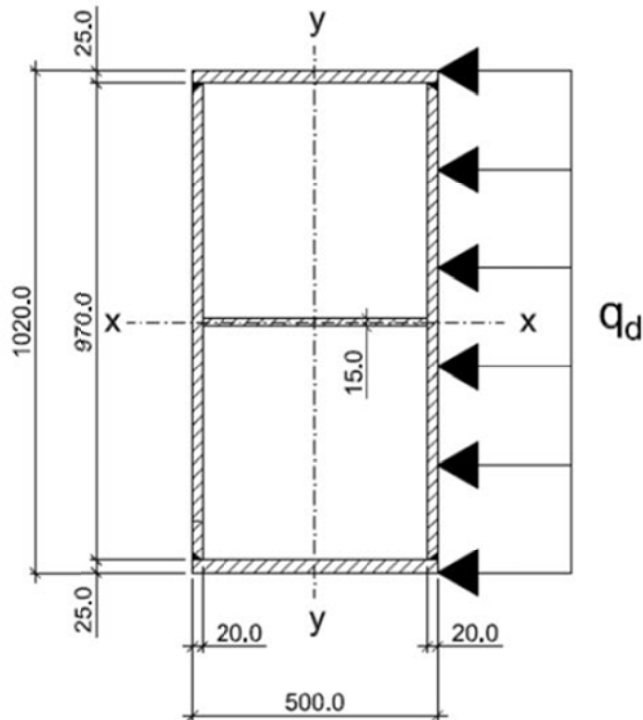
Kasuunin sisälle tulevat teräsristikot mitoitettiin Eurokoodi 3:n mukaisesti poikileikkausluokassa 3. Yläpaarre mitoitettiin kuljetuksen aikaiselle vedenpaineelle. Vedenpaine kuormittaa seiniä, mistä aiheutuu tukireaktio pilasteriin. Pilasteri mitoitettiin yksiaukkoisena palkkina, jonka yläpään tukireaktio laskettiin ja joka toimi mitoittavana voimana yläpaarteelle. Tukireaktio tulee kasuunin molemmilta puolilta, jolloin yläpaarteeseen vaikuttava puristava voima on kaksinkertainen. Diagonaalit mitoitettiin uitonaikaiselle toispuoleiselle vedenpaineelle, joka aiheutuu, kun kasuunia lasketaan mereen. Teräsristikoiden mitoituksessa tarkistettiin sauvojen puristuskestävyys (normaalivoimakestävyys), nurjahduskestävyys, taivutuskestävyys, leikkauskestävyys sekä yhdistetty taivutus ja puristus.



Kuva 46. Kuljetuksen aikaisten ristikoiden yläpaarteiden mitoitusta.

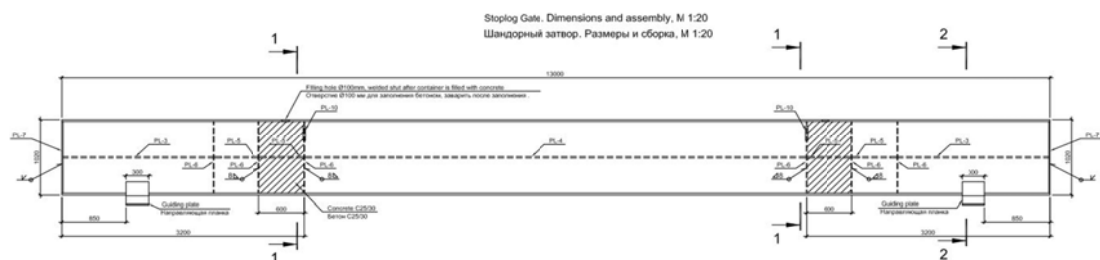
5.4 Settipalkin mitoitus

Teräsrakenteiset settipalkit (settilankut) toimivat padon virtausaukkojen sulkurakenteena. Settipalkit lasketaan nosturilla kasuuneissa oleviin settiuriin ja kynnyspalkkiin. Settipalkin mitat 0,5m x 1,0m vaikuttivat heti suunnittelun alussa sopivilta ennen mitoituksen aloittamista. Alun perin settipalkin rakenne suunniteltiin monimutkaisemmaksi, jossa settipalkissa on pontit. Suunnittelussa kuitenkin huomattiin, että settiseinän tiivistäminen settiuria vasten olisi tällöin hankalaa. Tämän takia settipalkin rakennetta yksinkertaistettiin ja palkin muodosta tuli suorakaiteen muotoinen putkiprofiili.



Kuva 47. Settipalkin rakenne.

Settipalkkeja kuormittavat vedenpintojen korkeuserosta aiheutuva vedenpaine sekä aaltokuorma. Kuormitustapaukset eivät tapahdu samanaikaisesti, ja aaltokuorma osoittautui mitoittavaksi. Settipalkki kootaan teräslevyistä hitsaamalla. Saumat hitsataan vesitiiviiksi, jotta korrosio ei vaikuta settilankun sisäpuolella. Settipalkkien väleihin tulee kumitiivisteet, jotka tekevät settiseinästä vesitiiviin. Settiuriin, jotka ovat kasuuneissa, asennetaan kumiset putket, jotka voidaan täyttää nesteellä ja tarvittaessa paineistaa, joka tiivistää settiseiniä päät.



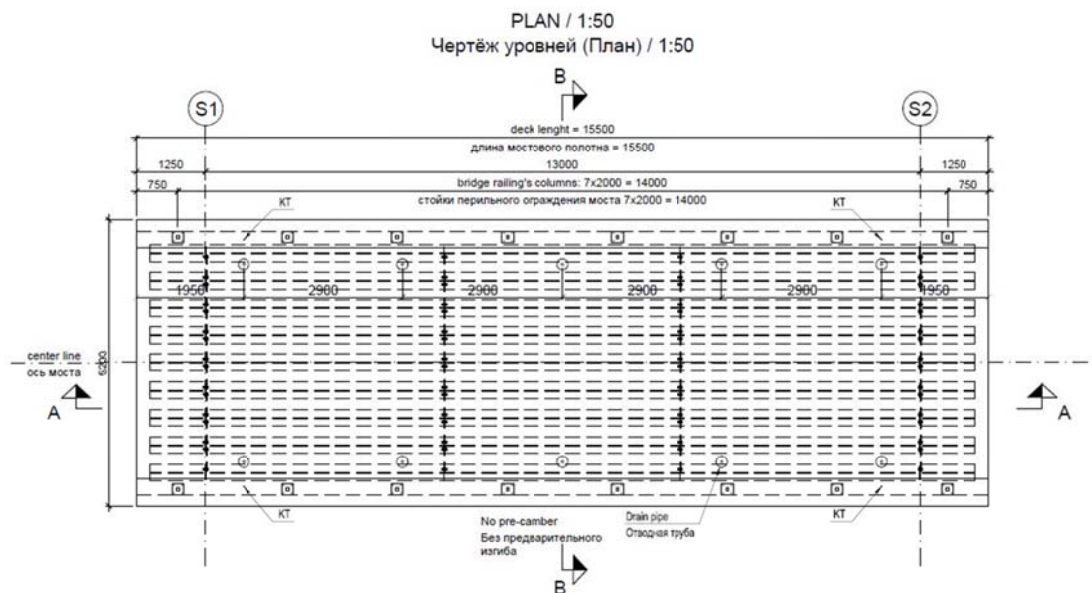
Kuva 48. Ote settipalkin mitta- ja kokoonpanopiirustuksesta.

Veden aiheuttama noste keventää palkkia, minkä takia palkkiin suunniteltiin lokerot, jotka voidaan täyttää betonilla, mikä lisää rakenteen painoa. Tämä ratkaisu alensi huomattavasti settipalkkien kustannuksia, kun seinämät saattoi valmistaa ohuemmasta teräslevystä. Settipalkin seinämävahvuudet valittiin ot-

taen huomioon 5mm korroosiovaran ja settilankku mitoitettiin Eurokoodi 3:n mukaisesti poikkileikkausluokassa 3. Mitoituksessa tarkistettiin palkin taivutuskestävyys, leikkauskestävyys sekä yhdistetty leikkaus- ja taivutuskestävyys. Myös palkin taipuma tarkistettiin.

5.5 Siltakannen mitoitus

Siltakannen mitoitus lähti liikkeelle siltakanteen kohdistuvien kuormien selvittämisellä. Siltakansi on yhteensä kolme kappaletta padossa ja kaikki ovat samanlaisia. Siltakannet toimivat ajoyhteytenä läntiselle aallonmurtajalle, joka on osa satama-altaan ympärille rakennettuja louhepenkereitä. Siltaan kohdistuvien liikennekuormien arvioinnissa pääteltiin, että siltakannelle voi tulla raskasta liikennettä, kuten esimerkiksi maansiirtoajoneuvoja. Maansiirtoajoneuvoja käytetään aallonmurtajien rakennustyössä sekä mahdollisesti myös satama-altaan rakentamisen jälkeen, jos aallonmurtajia joudutaan korjaamaan tai rakentamaan uusiksi. Erilaisten maansiirtoajoneuvojen kokonaispainoja ja akselipainoja selvitettiin ajoneuvojen valmistajien internet-sivuilta. Mitoitavaksi ajoneuvoksi valittiin Cat 740C EJ dumpperi, jonka kokonaispaino kuormattuna on 74,07 tonnia. Dumpperi on runko-ohjattu maansiirtoauto jossa on kääntyvä keskinivel. Akselikuormat ajoneuvon ollessa kuormattuna ovat 22,12 t, 26,10 t ja 25,85 t. (Wihuri Oy.)

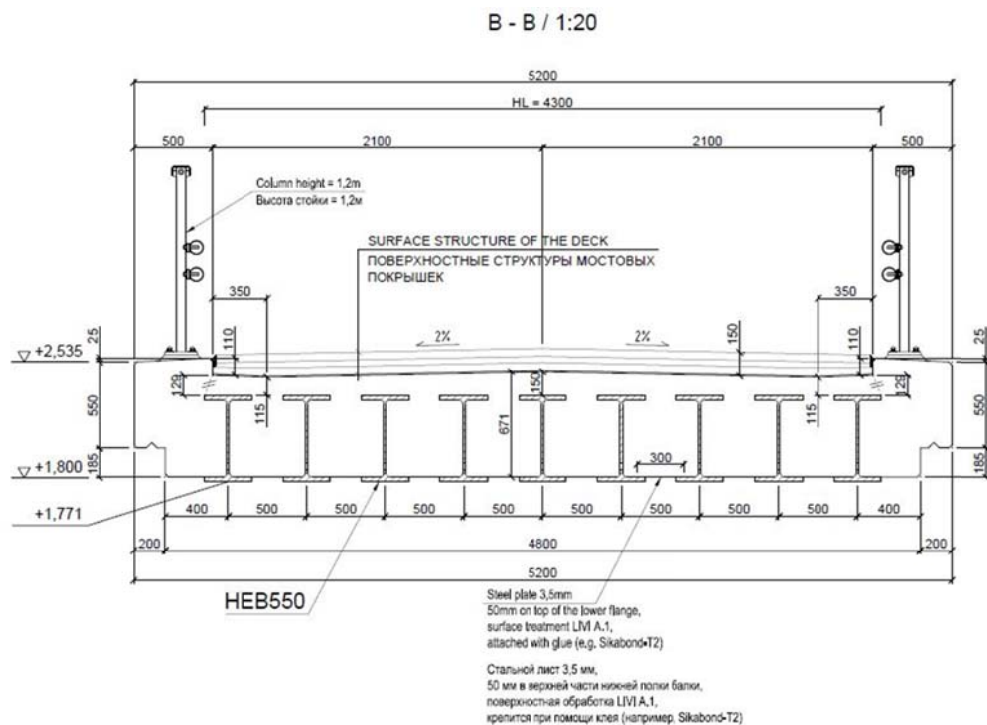


Kuva 49. Ote siltakannen mittapiirustuksesta, siltakannen tasokuva.

Siltakansi on rakenteeltaan teräspalkkibetonisilta. Siltakannessa on yhdeksän I-palkkia joiden ympärille valetaan betonikansi. Sillan rakennemalli on vapaas-

ti tuettu yksiaukkoinen palkki. Mitoitusta varten tehtiin kaksi murtorajatilan kuormitustapausta, joissa dumperi on eri kohdissa siltakantta. Mitoittava taivutusmomentti saatiin, kun ajoneuvo sijoitettiin kannen keskivaiheille ja mitoittava leikkausvoima saatiin kun ajoneuvon taka-akseli sijoitettiin tuen viereen. Murtorajatilamitoituksessa kuormat kerrottiin osavarmuusluvulla sekä sysäyslisällä, joka huomioi kuorman dynaamisen ominaisuuden. Kuormituslaskuja laadittiin yli 15 sivua, vaikka kyseessä onkin yksiaukkoinen siltakansi.

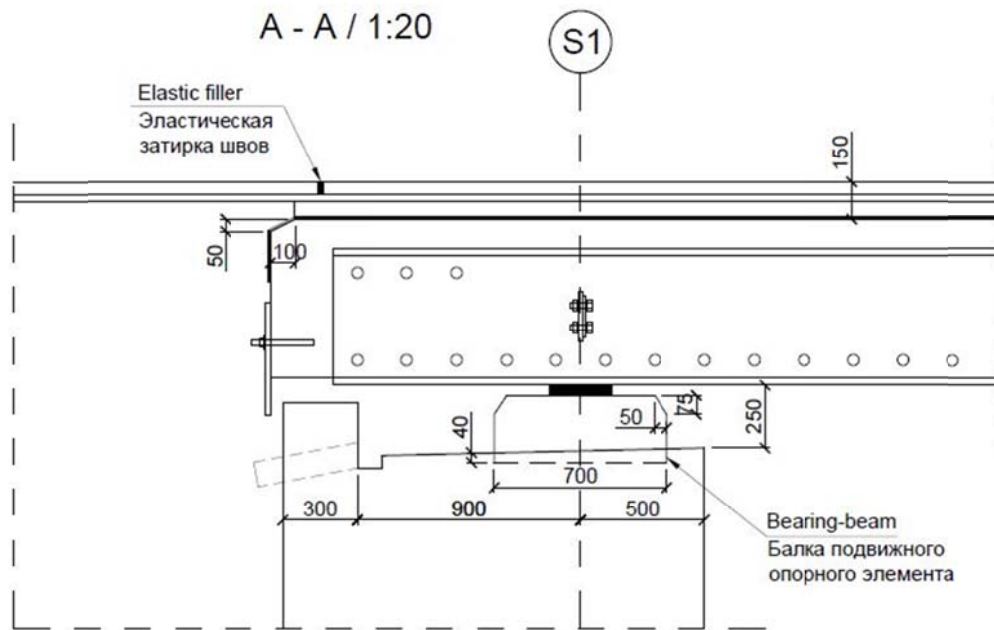
Sillan hyötyleveydeksi valittiin 4,3m ja jänneväliksi 13,0m, mikä määräytyi kanava-aukon leveyden mukaan, joka oli 12,0m. Dumperin raideleveys on 2,7m ja ajoneuvon ollessa siltakannella kuorma jakaantuu neljälle I-palkille, mitä käytettiin myös I-palkin mitoituksessa. Toisin sanoen, kaksi I-palkkia kantaa puolet ajoneuvon kuormasta. Siltakannessa on yhteensä yhdeksän I-palkkia 500mm välein. Sillan poikkileikkaus piirrettiin ennen mitoittamisen aloittamista jotta siltakannen omanpainon kuormat pystyi laskemaan.



Kuva 50. Ote siltakannen mittapiirustuksesta, siltakannen poikkileikkaus.

Sillan I-palkiksi valittiin alustavasti HEB550-profiili, jonka teräslaatu on S355. Palkin valintaa varten laskettiin palkin taivutusjännitys jakamalla I-palkkia raskas murtorajatilan kokonaismomentti HEB550-profiilin taivutusvastuksella. Taivutusjännitykseksi saatiin 250MPa, joten profiili vaikutti alustavasti sopivalta. Siltakannen rasitusluokat selvitettiin Liikenneviraston julkaisemasta Euro-

koodin soveltamisohjeesta NCCI2. Rasitusluokat on esitetty taulukossa 4.1 ja ne pitää valita ympäristöolosuhteiden mukaan. Koska silta sijaitsee meren rannalla, ovat rasitusluokat kansirakenteelle XC3, XC4, XS1, XD1 sekä XF2. Reunapalkkien rasitusluokat ovat XC4, XS1, XD3, sekä XF2. Siltakannen betonin vähimmäislujuus määräytyy rakenneosan ja rasitusluokkaryhmän perusteella ja kannen betoniksi valittiin C35/45-3 P30. Rasitusluokat vaikuttavat betonin lisäaineiden valintaan, joten ne on tärkeää esittää suunnitelmissa. Lisäaineilla voidaan parantaa muun muassa betonin säänkestävyyttä.



Kuva 51. Ote siltakannen mittapiirustuksesta, siltakannen pään rakenne.

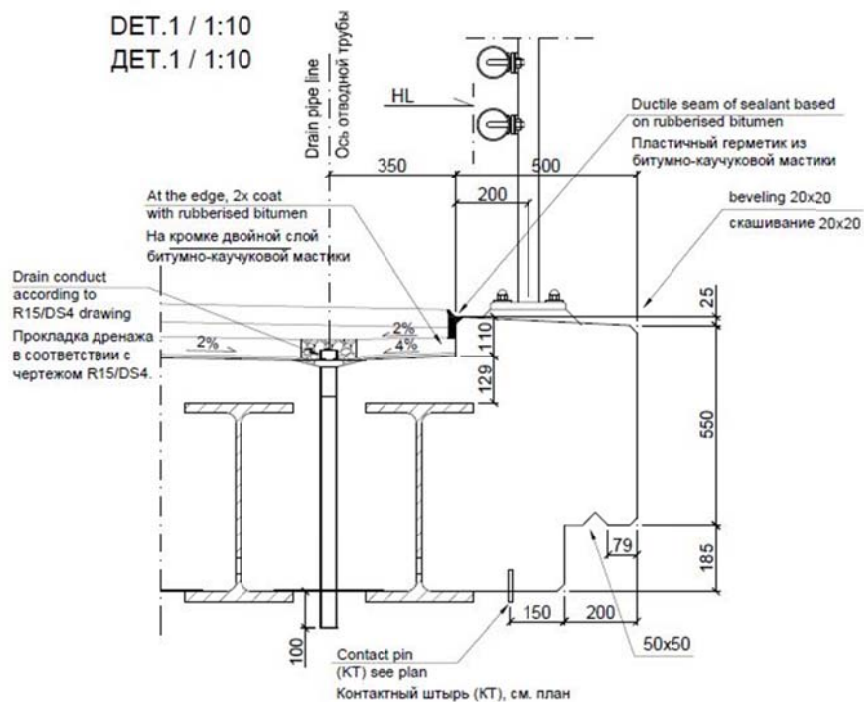
Mitoituksessa käytettiin MathCAD-laskentaohjelmaa, jota käytettiin laskenta-kaavojen laatimiseen. Mitoituksessa pystyi hyödyntämään Siton aiempia silta-projekteja ja laskelmien esimerkkinä käytettiin vastaavan liittorakenteisen siltakannen laskelmia. Tämä oli erittäin tärkeää projektin tiukan aikataulun takia, eikä mitoitus olisi onnistunut lyhyessä ajassa ilman käytössä olleita esimerkkilaskelmia.

Siltakannen materiaaliominaisuudet laadittiin NCCI2 mukaisesti, joihin kuului muun muassa betonin mitoituslujuudet, betonin virumaluvut sekä betonin kutistuma ajan funktiona. Myös raudoitusteräksen ja rakenneteräksen mitoituslujuudet laskettiin NCCI2 mukaan. Teräspalkkibetoniselle poikkileikkaukselle laskettiin poikkileikkausarvot SFS-EN 1994-2 kohdan 6.3.1 mukaisesti. Teholliset taivutusjäykkyudet laskettiin taipumien laskentaan. Siltakannen paksuus

ja I-palkkien jako valittiin siten, että geometriset ehdot poikkileikkaukselle täyttyivät (SFS-EN 1994-2, kohta 6.3.1).

I-palkkien taipumalaskuissa tarkastettiin taipumat valutilanteessa sekä siltäkannen kokonaistaipuma liikennekuormasta. Taipumat pysyivät sallituissa toleransseissa. Siltäkannen taipuma pysyvistä kuormista oli vain 11,4 mm, joten palkkien esikorotukselle ei ollut tarvetta. Mitoituksessa käytetty liittopoikkileikkauksen leveys oli sama kuin palkkiväli eli 500mm. I-palkin profiili oli alustavassa mitoituksessa valittu HEB550 S355 ja betoniteräs oli teräslaadultaan B500B. Leikkauskestävyys laskettiin teräspoikkileikkauksen leikkauskestävyytenä standardin SFS-EN 1994-2 mukaisesti. Poikkileikkauksen taivutuskestävyys laskettiin täysplastisen jännitys jakauman mukaan (SFS-EN 1994-2, kuva 6.9). Betonin, betoniteräksen ja rakenneteräksen jännitykset laskettiin pitkäaikais-, ominais- ja tavallisessa yhdistelmässä ja myös kutistumasta tulevat jännitykset laskettiin.

Mitoitukseen kuului myös halkeamaleveyksien laskeminen sekä kannen alaja yläpintojen pituussuuntaisten rautojen mitoitus. Kanteen ei synny poikittaisia momentteja, joten poikkisuuntaisena raudoituksena voitiin käyttää minimiraudoitusta NCCI2 kohdan 9.1 mukaisesti.



Kuva 52. Ote siltäkannen mittapiirustuksesta, reunapalkin rakenne.

Siltäkannen kumilevylaakerien mitoitusta varten oli olemassa Sito Oy:n valmis MathCAD-laskentapohja, jonka kaavoilla kumilevylaakerit pystyi mitoittamaan

standardin SFS-EN 1337-3 mukaisesti. Laakereita tuli yhteen siltakanteen 18 kpl, eli yksi jokaisen I-palkin alle siltakannen molempiin päihin. Mitoituskuormana käytettiin 500 kN jarrukuormaa (NCCI1 B.4.4.1), joka jakaantuu kaikille laakereille. Laskelmien avulla siltakanteen saattoi valita sopivan, standardikokoa olevan kumilevylaakerin.

5.6 Raudoitusluetteloiden sekä määrä- ja kustannusarvioiden laadinta

Raudoitusluettelot laaditaan yleensä osana rakennesuunnitelmaa. Esimerkiksi siltojen rakennesuunnittelussa raudoitusluettelot laaditaan oletusarvoisesti, mutta kaikissa rakennesuunnitelmissa raudoitusluetteloita ei laadita. Usein suunnittelutyön tilaaja edellyttää luetteloiden laatimista. Joissain tapauksissa luetteloiden laadinta ei ole järkevää, kuten esimerkiksi betonirakenteissa, jotka tulevat kallioiloihin tai tunneleihin. Kalliopinnan sijainti on monesti niin epä-määräinen, että siihen liittyvien betonirakenteiden raudoituksien mitat selviävät vasta rakennusvaiheessa. Raudoitusluetteloita käytetään terästehtaissa raudoitusterästen taivutukseen sekä työmaalla yhdessä piirustusten kanssa rakenteiden raudoitustyössä. Luetteloiden avulla työmaalle voidaan tilata juuri oikea määrä raudoitusterästä valmiiksi taivutettuna. Luetteloiden avulla voidaan työmaalla myös kontrolloida sitä, että kaikki piirustuksissa esitetyt raudoitusteräokset päätyvät muottiin. Luetteloita käytetään myös kustannusarvion laadinnassa, sillä niistä voi lukea raudoitusterästen kokonaiskilomäärän.

ВЕДОМОСТЬ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ, Форма 1 Дата распечатки: 23.3.2016
LIST OF REINFORCING BARS, Form 1 Print date: 23.3.2016
Steel quality A500HW
Марка стали

Page 1 (2)

Type Тип	ID	Pcs. Кол-во шт	D мм	L мм	L _н мм	Weight total kg	Massa, итого, кг	РАЗМЕРЫ, мм										Comm. Примечание
								a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
RE-BAR LISTING FOR ONE BRIDGE DECK																		
A	1	77	16	4680		568,8	4680											
B	2	154	16	1500		364,6	900	600									40	
A	3a	40	20	12000		1183,8	12000											
A	3b	40	20	4400		434,0	4400											
F	4	204	8	1933		155,6	150	390	417			90	87	390	436	16		
A	5a	24	16	12000		454,6	12000											
A	5b	24	16	4400		166,7	4400											
РЕЗЮМЕ							Масса стержней = 5128 кг											
SUMMARY							Total weight of steel: 5128 kg											
							Project title										Hanhikivi NPP1, harbour АЭС «Ханхикиви-1», гавань	
							Particular										Bridge deck/Shore мостового полотна	
D mm		8	16	20	25												Des. S. Markkula Design N° 32/41	
Length m		394	1965	714	29												Rev. R. Heini List number	
Weight kg		156	3102	1760	111													

Kuva 53. Ote siltakannen raudoitusluettelosta.

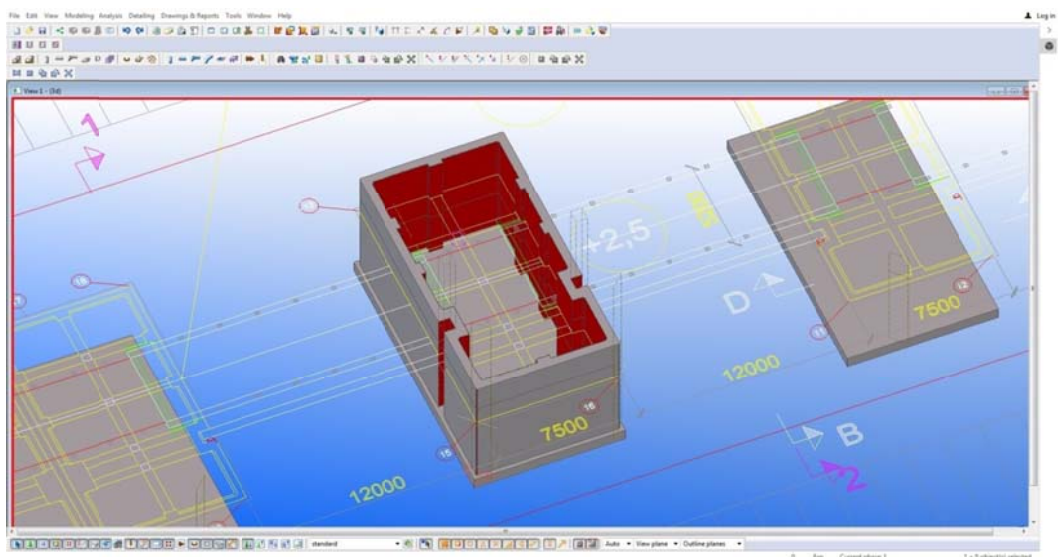
Raudoitusluetteloiden laatimista varten on olemassa tietokoneohjelmia, joihin on valmiiksi ohjelmoitu terästen taivutustyytit sekä taivutussäteet. Sitossa on

käytössä RL 3.0-ohjelma jolla rauditusluettelot laadittiin kasuunin peruslaatasta ja seinistä sekä siltakannesta. Terästen kappalemäärät, pituudet, taivutusmitat sekä taivutussäteet katsottiin raudituspiirustuksista.

Määräluetteloiden ja kustannusarvioiden laatimiseen käytettiin selainpohjaista ohjelmaa, jossa oli litteroitu valmiiksi erilaiset rakennusmateriaalit ja rakennustuotteet. Ohjelmassa on valmiina myös materiaalien ja tuotteiden hinnat. Määrät laskettiin mitta- ja raudituspiirustuksista. Joitain tuotteita ohjelmasta ei löytynyt, kuten Peikko-kiinnityslevyjä, joten niiden hinnat jouduttiin arvioimaan. Padosta ja siltakansista laadittiin erilliset määräluettelot ja kustannusarviot. Pato osoittautui kalliiksi rakennelmaksi, mikä lisäsi paineita saada suunnitelma onnistumaan. Kustannuksien vähentämiseksi settipalkkien rakenteeseen tehtiin muutoksia, jotka vähensivät settipalkkien teräsmäärää ja siten alensivat kustannuksia.

6 PADON TIETOMALLINNUS TEKLA STRUCTURES-OHJELMALLA

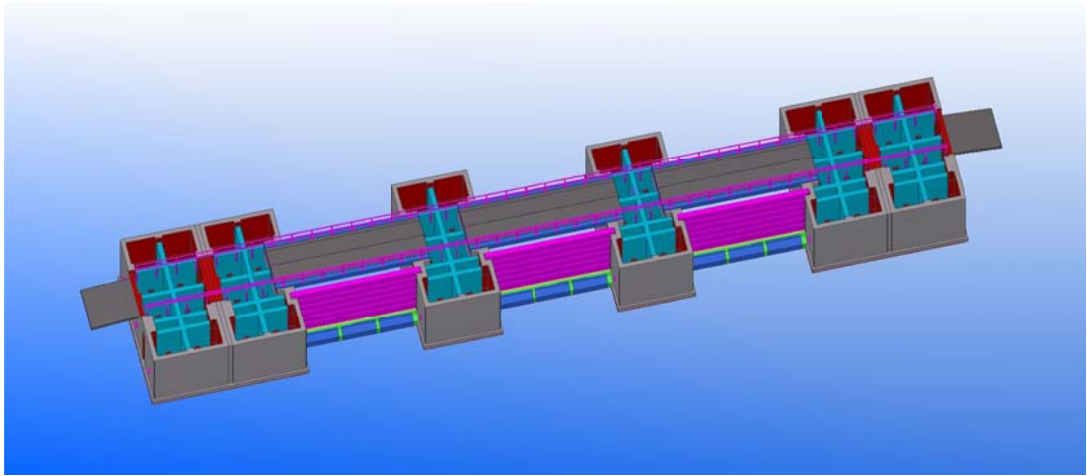
Patorakenteesta laadittiin 3D-tietomalli Tekla Structures 21.0 mallinnusohjelmalla. Tekla Structures on suomalainen tietokoneohjelma, jolla voi mallintaa kaikentyyppisiä rakenteita mistä tahansa materiaalista. Ohjelmaa käytetään maailmanlaajuisesti suunnittelutoimistoissa, rakennusliikkeissä, konepajoissa, raudoitustehtaissa sekä elementtitehtaissa. Ohjelma voidaan yhdistää konepajojen tuotannonohjausjärjestelmiin ja automaattisiin tuotantokoneisiin. Teräsosien valmistukseen tarvittava tieto voidaan poimia suoraan mallista. (Tekla Structures.)



Kuva 54. Padon kasuunin mallinnusta Tekla Structures-ohjelmalla.

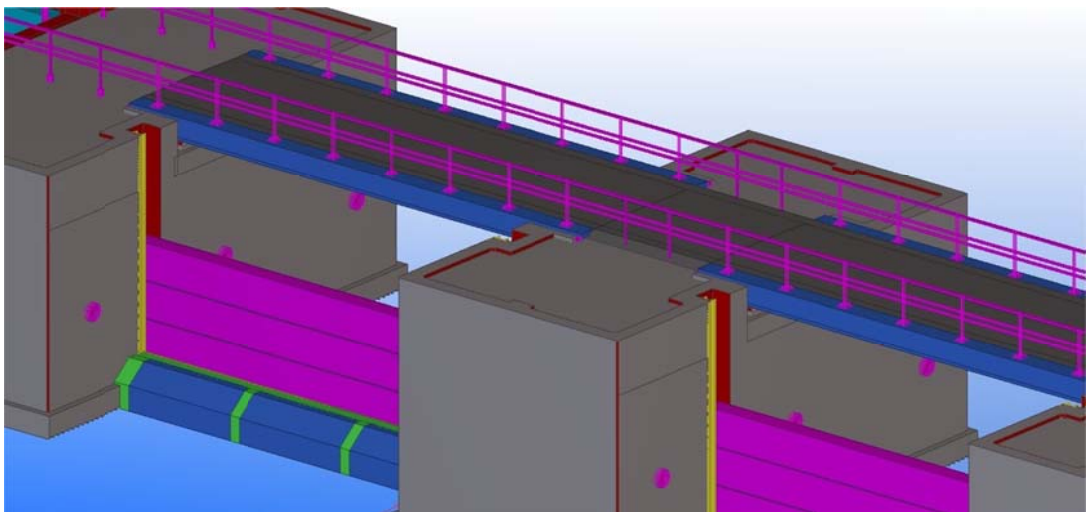
Tekla Structures-ohjelmalla voidaan laatia rakennuksesta tietomalli, joka sisältää kaikki rakennuksen osat ja rakenteet. Rakenteet mallinnetaan kolmiulotteisina objekteina, joihin voidaan sisällyttää tietoja rakenneosan materiaalista, profiilista sekä muista ominaisuuksista. Rakennuksien, siltojen ja infrarakenteiden mallintaminen on nykyään yleistä johtuen mallintamisen tuomista eduista. Vaativien talorakenteiden suunnittelussa mallinnus tehdään oletusarvoisesti ja 3D-mallinnus tarjoaa tehokkaan työkalun rakenteiden suunnitteluun. Mallintamista käytetään myös tavallisten talokohteiden suunnittelussa kasvavassa määrin. 2D-piirustukset eivät usein anna riittävästi tietoa rakenteista ja rakenteen hahmottaminen on vaikeaa. Mallintamisen etuihin kuuluukin muun muassa 3D-mallin havainnollisuus, rakenneosien suunnitteluvarmuuden paraneminen sekä suunnitteluvirheiden väheneminen. Monet rakenteiden törmäykset ja muut rakenteelliset ongelmat huomaa usein vasta 3D-tietomallista. Tietomalli-

la tehdyllä rakenteiden törmäystarkastelulla päällekkäiset rakenteet voidaan huomata jo suunnitteluvaiheessa, ja näin vältetään yllätyksiltä rakentamisvaiheessa. (Tekla Structures.)



Kuva 55. Patorakenteen valmis Tekla Structures-malli.

Padosta tehty tietomalli oli vaativuudeltaan keskitasoa, joten malli oli nopea toteuttaa. Padon mittakuvat oli jo piirretty valmiiksi AutoCADilla kun mallinnustyö alkoi, joten padon mitat pystyi ottamaan suoraan piirustuksista. Padon kaikki rakenteet mallinnettiin ja rakenneosat nimettiin. Rakenneosille annettiin myös materiaalitiedot ja Class-numerot ja rakennekokonaisuuksille tehtiin Phase-jaottelu. Siltakantta ja kynnyspalkkia varten tehtiin erikoispoikkileikkaukset, ja kasuunin venttiileistä, kiinnityslevyistä sekä kaidetolpista tehtiin Custom-komponentit. Padon tietomalli voidaan liittää referenssinä koko satamaltaasta tehtyyn tietomalliin IFC- tai 3D-dwg-muodossa.



Kuva 56. Padon Tekla Structures-malli. Kuvassa kasuunien louhetäyttö on mallinnettu ja ylimmät settilankut on poistettu näkyvistä.

7 VALMIIT SUUNNITELMAT

Patorakenteiden vertailu ja rakennesuunnitelman laatiminen aloitettiin loppuvuodesta 2015 ja työ jatkui koko kevään 2016. Rakennesuunnitelman laskelmat saatiin valmiiksi maaliskuun lopulla ja piirustukset sekä 3D-malli huhtikuussa. Valmiit suunnitelmadokumentit toimitettiin tilaajalle tarkastettavaksi huhtikuussa 2016.

Kaikille suunnitelmadokumenteille tehtiin sisäinen laatutarkastus, josta laadittiin tarkastusraportti. Tarkastuksessa havaitut virheet ja puutteet korjattiin suunnitelmiin ja tarkastusraporttiin kirjattiin vastineet ja tiedot tehdyistä korjauksista. Sisäinen tarkastus on osa laatujärjestelmää ja sillä varmistetaan, ettei suunnitelma sisällä rakenteellisia virheitä.

Ohessa luettelo opinnäytetyössä laadituista suunnitelmadokumenteista:

Tekstidokumentit:

- Rakennelaskelmat, osat A, B, C ja D, 172 sivua. Laskelmat laadittiin suomen-, venäjän- ja englanninkielisinä
- Patorakenteen määräluettelo
- Siltakansien määräluettelo
- Patorakenteen kustannusarvio
- Siltakansien kustannusarvio
- Kasuunin seinien rauditusluettelo
- Kasuunin pohjalaatan rauditusluettelo
- Siltakannen rauditusluettelo

Piirustukset:

- Patorakenteen yleispiirustus
- Kasuunin mittapiirustus 1
- Kasuunin mittapiirustus 2
- Kasuuninmittapiirustus 3
- Kasuunin mittapiirustus 4
- Kasuunin raudituspiirustus 1
- Kasuunin raudituspiirustus 2

- Kasuunin raudoituspiirustus 3
- Kasuunin raudoituspiirustus 4
- Settipalkin mitta- ja kokoonpanopiirustus
- Kasuunin uiton toteutustapapiirustus
- Siltakannen mittapiirustus 1
- Siltakannen mittapiirustus 2
- Siltakannen raudoituspiirustus 1

3D-tietomalli:

- Patorakenteen 3D-tietomalli, laadittu Tekla Structures 21.0-ohjelmalla
- IFC-Model
- Tietomalliseloste

Padon rakennesuunnitelmaan kuuluvat lisäksi seuraavat dokumentit, jotka laadittiin Sito Oy:n sillat ja rakenteet-osastolla sekä geosuunnittelu-osastolla:

- Työselostus
- Väyläsuunnitelmapartta
- Väyläsuunnitelmapiirustus satama-altaasta
- Geotekniset piirustukset satama-altaan ja settipadon alueelta

8 POHDINTA

Ydinvoimalan patorakenteen suunnittelutehtävä ja vaihtoehtojen tarkastelu oli laaja ja vaativa kokonaisvaltainen projekti sisältäen geo-, maa- ja vesirakennus- sekä rakennesuunnittelua. Suunnittelutehtävään sisältyi lisäksi Suomessa harvoin käytettyjä rakenneratkaisuja, kuten kuivatelakalla rakennettavat kasuunit. Suunnittelutehtävän onnistuminen edellytti hyvää yhteistyötä opinäytetyön molempien tekijöiden kesken. Suunnittelupalaveriinkin osallistuminen ja yhteistyön tekeminen muiden projektiin osallistuneiden kanssa edellytti projektityöosaamista ja ryhmätyötaitoja.

Vaikka mitoitettavia rakenteita oli paljon, niin mitoituksen vaikeusaste oli kohtuullinen. Liittorakenteisen siltakannen mitoitus oli kuitenkin vaativa tehtävä, mikä kuitenkin onnistui Siton siltaosaston asiantuntijoilta saatujen neuvojen ja esimerkkilaskelmien avulla.

Patorakenteeksi valittu settipato on toimiva ja toteuttamiskelpoinen valinta satama-altaaseen. Raskaat betonikasuunit kestävät hyvin rakennuspaikan olosuhteita ja ne voidaan esivalmistaa telakalla, mikä vähentää merellä tehtäviä betonivaluja. Sulkurakenteena toimivat settipalkit ovat toimintavarma ratkaisu padon virtausakkoihin, sillä niiden nostaminen käy nopeasti ajoneuvonosturilla eikä rakenne vaadi huoltotoimenpiteitä. Liittorakenteinen siltakansi on sopiva valinta kohteeseen, sillä sen rakentamiseen tarvitaan vain vähän muottitöitä, mikä nopeuttaa rakentamista.

Padon ja sen rakenneosien suunnittelussa valitut ratkaisut ovat toteutukseltaan tavanomaisia eivätkä edellytä erikoiskalustoa tai harvinaisia työmenetelmiä. Suomesta ja ulkomailta löytyy useita urakoitsijoita, jotka pystyvät toteuttamaan kohteen ja siten rakentamisen kustannukset tulevat mitä todennäköisemmin padon osalta pysymään alustavien laskelmien tasolla. Patoon kuuluvien kasuunien rakentaminen voidaan toteuttaa joko telakka-altaassa, jos sellainen on käytettävissä toteutuksen ajankohtana, tai vaihtoehtoisesti työpenkereen päällä lähellä kohdetta. Padon rakentaminen maa- ja vesirakennustöineen vaatii urakoitsijalta lauttakalustoa, jolta käsin padon rakentamiseen liittyvät nostotyöt voidaan toteuttaa. Rakentamisen aikataulussa tulee huomioida se, että kasuunit saadaan asennettua ja täytettyä ennen jäiden tuloa.

Kiireellisen suunnittelu-aikataulun vuoksi joitain detaljeja jäi rakennesuunnitelmasta puuttumaan, kuten kasuunin tyhjennysventtiilien ja settiuran kulmateriaalien detaljit, jotka suunnitelmaan pitää vielä täydentää. Settiseinien alle tulevien kynnyspalkkien mitta- ja raudituspiirustukset tulee vielä myös laatia. Settipalkkien rakennetta voidaan lisäksi vielä tarkastella ja harkita, onko settipalkkeihin tarvetta tehdä pontit tiiviyden parantamiseksi. Myös settipalkkien nostolenkkeihin voi tulla vielä muutoksia, jotta palkit pystytään nostamaan ilman sukeltajatyötä.

On syytä korostaa, että erityisesti vesirakennustyössä kohdataan usein työn aikana yllätyksiä, jotka aiheuttavat muutoksia suunnitelmiin ja siten helposti myös lisäkustannuksia ja aikatauluongelmia. Mitä paremmat lähtötiedot kohteesta suunnittelijalla on suunnittelutyössään käytettävissä, sitä todennäköisemmin myös työn toteutus onnistuu suunnitellusti sovitussa aikataulussa ja kustannusraameissa. Siten myös padon tulevalta paikalta voidaan vielä harkita tarkentavan pohjatutkimuksen suorittamista.

LÄHTEET

1. Aluehallintovirasto. 2015. Tiedotteet 2015. Hanhikiven ydinvoimalaitokseen liittyvät vesitalousluvut. Saatavissa: <https://www.avi.fi/web/avi/-/hanhikiven-ydinvoimalaitokseen-liittyvat-vesitalousluvut-pohjois-suomi-#.VzIR-DEVhZX> [Viitattu: 29.4.2016]
2. Aluehallintovirasto. 2013. Vesilupahakemus. Fennovoima. Hanhikiven ydinvoimalaitoksen satama, jäähdytysveden ottorakenteet ja meriväylä. Saatavissa: http://www.avi.fi/web/avi/vesiluvat-vireilla-pohjois-suomi-hanhikiven_ydinvoimala_satama_ja_ottorakenteet#.VzIRjTEVhZU [Viitattu: 29.4.2016]
3. Autodesk. About Autodesk. Saatavissa: http://www.autodesk.com/company?_ga=1.196763691.640341658.1463919906 [Viitattu: 29.4.2016]
4. A & S Virtual Systems. Jigi v4.0 on julkistettu. Saatavissa: <http://www.jigi-soft.fi/fi/etusivu/> [Viitattu: 29.4.2016]
5. Fennovoima. 2016a. Hanhikivi 1. Saatavissa: <http://www.fennovoima.fi/hanke> [Viitattu: 29.4.2016]
6. Fennovoima. 2016b. Hanhikiven niemi. Saatavissa: <http://www.fennovoima.fi/pyhajoki/sijoituspaikka/hanhikivenniemi> [Viitattu: 29.4.2016]
7. Fennovoima. 2016c. Ydinvoimalan rakentaminen. Saatavissa: <http://www.fennovoima.fi/hanke/rakentaminen> [Viitattu: 29.4.2016]
8. Furustam, K-J., Haapanen, E., Holttinen, E., Holttien, H., Liukkonen, S. & Määttänen, M. 1998. Offshore-tuulivoima Perämeren jääolosuhteissa. VTT JULKAISUJA-PUBLIKATIONER 828. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT). Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1998/J828.pdf> [Viitattu: 29.4.2016]
9. Hanhikivi-yhteyshanke. 2014. Hanhikivi-opas. Saatavissa: http://www.raaseu.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/testi/embeds/testi4wwwstructure/20904_Hanhikivi-opas.pdf [Viitattu: 29.4.2016]
10. ICOLD. Dam types. International Commission on Large Dams. Saatavissa: http://www.icol-d-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp [Viitattu: 29.4.2016]
11. Kilpeläinen, J.E., Mustonen, S. & Muurinen, E. 1979. RIL 123 vesirakenteiden suunnittelu. Ensimmäinen painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

12. Liikennevirasto. 2013. Vesiväylätutkimusten yleisohjeet. Liikenneviraston ohjeita. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-18-vesivaylatutkimusten_yleisohjeet_web.pdf [Viitattu: 29.4.2016]
13. LKAB Minerals Oy. Raskasta asiaa betonista – raskasbetoni. Saatavissa: http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_74-77.pdf [Viitattu: 2.5.2016]
14. Ministry of Infrastructure and Transport, Italy. Mose System. Saatavissa: <https://www.mosevenezia.eu/?lang=en> [Viitattu: 29.4.2016]
15. Pekkaniska. Ajoneuvonosturit. Saatavissa: <http://www.pekkaniska.com/tuotteet/ajoneuvonosturit/> [Viitattu: 29.4.2016]
16. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. 2013. RIL 201-3-2013 Vesirakenteet. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Ensimmäinen painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto ry.
17. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Eurokoodit. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit> [Viitattu: 29.4.2016]
18. Tekla Structures. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures> [Viitattu: 29.4.2016]
19. Thoresen, C. A. 2010. Port designer's handbook. Second edition. London: Thomas Telford Limited.
20. Wihuri Oy. Runko-ohjatut dumpperit. Saatavissa: <http://www.witraktor.com/koneet/runko-ohjatut-dumpperit> [Viitattu: 25.4.2016]

KUVALÄHTEET

Kuva 1. Fennovoima. Saatavissa: <http://www.fennovoima.fi/hanke> [Viitattu: 18.5.2016]

Kuva 2. Fennovoima. Havainnekuva Rosatomin suunnittelema ydinvoimalasta Pyhäjoelle. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/fennovoima_valitsi_rosatomin/6997356 [Viitattu: 18.5.2016]

Kuva 3. Fennovoima. Tukirakennukset. Saatavissa: <http://www.fennovoima.fi/pyhajoki/laitospaikalla> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 4. Sito Oy / Burhan, S., Markkula, J. S. 2016.

Kuva 5. Hydro dam concrete. BHS Sonthofen. Saatavissa: <http://www.bhs-sonthofen.de/en/industry-solutions/building-materials/hydro-dam-concrete.html> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 6. Merowe dam project. CWE. Saatavissa: <http://english.cwe.cn/show.aspx?id=1918&cid=70> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 7. Le barrage de Sainte-Croix. Var-matin. Saatavissa: <http://archives.varmatin.com/ bauduen/diapo-le-barrage-de-sainte-croix-fetes-40-ans-sans-retendue.1711478.html> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 8. Dworshak Dam. Tata & Howard. Saatavissa: <http://www.tataandhoward.com/2015/07/the-7-most-interesting-dams-in-the-united-states/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 9. Kilpeläinen, J.E., Mustonen, S. & Muurinen, E. 1979. Padon rakenteelliset osat. Teoksessa Kilpeläinen, J.E., Mustonen, S. & Muurinen, E. RIL 123 vesirakenteiden suunnittelu. Ensimmäinen painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

Kuva 10. Kilpeläinen, J.E., Mustonen, S. & Muurinen, E. 1979. Gravitaatiopatoja. Teoksessa Kilpeläinen, J.E., Mustonen, S. & Muurinen, E. RIL 123 vesirakenteiden suunnittelu. Ensimmäinen painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

Kuva 11. Roselend Dam. Adrien Mortini. Saatavissa: <https://structurae.net/structures/roselend-dam> [Viitattu: 22.5.2016]

Kuva 12. Balloki Headwork. F9view. Saatavissa: <http://f9view.com/balloki-headworks-information-and-photos> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 13. Water control gates. Kodru Mooney. Saatavissa: <http://www.kodru-equipment.com/whipps/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 14. AWMA. Saatavissa: <http://www.awmawatercontrol.com.au/gallery/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 15. Stoplog monorail. iCrane. Saatavissa: <http://icranesystems.ca/products-main-industrial-sectors/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 16. Stainless Steel Stoplogs. IBS. Saatavissa: <http://www.hochwasserschutz.de/en/flow-control/stop-logs/stainless-steel-stoplogs/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 17. World Infrastructure News. Saatavissa: <http://worldinfrastructurenews.com/2014/02/03/how-the-survival-of-venice-will-hinge-on-mose-flood-defences/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 18. Enerpac. Saatavissa: <http://www.enerpac.com/en/projects/products-and-solutions/cylinder-and-pump-sets/hydraulics-play-key-role-in-the-installation-of-venice-mose-caissons> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 19. Thoresen, C. A. 2010. Caisson berth with three chambers. Teoksessa Thoresen, C. A. 2010. Port designer's handbook. Second edition. London: Thomas Telford Limited.

Kuva 20. Strukton. Saatavissa: <http://www.struktonimmersionprojects.com/projects/immersion-storm-surge-barrier-venice/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuva 21. The Corner. Saatavissa: <http://thecorner.eu/companies/fcc-to-ship-colossal-components-of-brazils-acu-port-from-spain-to-brazil/23747/> [Viitattu: 20.4.2016]

Kuvat 22 - 23. Sito Oy. 2012.

Kuvat 24 – 25. Sito Oy / Burhan, S., Markkula, J.S. 2016.

Kuva 26. Thoresen, C. A. 2010. Construction of L-element wall. Teoksessa Thoresen, C. A. 2010. Port designer's handbook. Second edition. London: Thomas Telford Limited.

Kuvat 27 – 37. Sito Oy / Burhan, S., Markkula, J.S. 2016.

Kuva 38. Sito Oy. 2016.

Kuva 39. Sito Oy. 2012.

Kuvat 40 – 56. Sito Oy / Burhan, S., Markkula, J.S. 2016.

