

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Yhdyskuntatekniikka

Aleksi Jerkku

Saimaan kanavan alapuolisen sulun porttilehtien tiiveyteen vaikuttavat tekijät

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Aleksi Jerkku

Saimaan kanavan alapuolisen sulun porttilehtien tiiveyteen vaikuttavat tekijät,
54 sivua, 6 liitettä

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Yhdyskuntarakentaminen

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Jari-Pekka Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu, työpäällikkö
Antti Rämä, GRK Infra Oy

Opinnäytetyö on tehty osana GRK Oy:n Saimaan kanavan alaporttilehtien uusimurakkaa ja työ käsittelee Saimaan kanavasulkujen porttilehtien asennusta rakennussuunnitelmaselostukseen nojaten. Työn tarkoituksena oli tutkia rakennussuunnitelmaselostuksessa ja standardeissa annettujen toleranssien mukaan valmistettujen osien vaikutusta porttilehtien tiiveyteen.

Tämän työn teoriaosuus on koottu rakennusalan kirjallisuudesta, rakennussuunnitelmaselostuksesta ja siinä viitatuista standardeista sekä normeista. Työn tarkastelussa on käytetty asennuksen aikaisia huomioita sekä käyttöönoton jälkeen toiminnassa olevien porttilehtien mittatarkkeita.

Opinnäytetyön tuloksena on saatu käsitys alaporttilehtien tiiveyteen vaikuttavista ympäristötekijöistä ja toleranssien vaikutuksesta porttilehtien rakenteille. Työn lopussa on esitetty vaihtoehtoisia toteutustapoja tiiveyteen.

Asiasanat: Kanavan sulut, alaporttilehdet, lämpölaajeneminen, vedenpaine

Abstract

Aleksi Jerkku

Affecting the tightness of bottom mitre gate at Saimaa canal locks, 54 Pages, 6 Appendices

LAB university of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Jari-Pekka Sinkko, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr Antti Rämä, Area Manager GRK Infra Oy

The thesis covers the bottom mitre gates of the Saimaa Canal 's locks modernization project 's and it was commissioned by GRK Infra Oy which is the prime contractor of the project. The aim of this thesis was to investigate and compare if the projects building plan description and the used standards allow the canals bottom locks operate as desired.

The theoretical part of this work was compiled from the construction industry literature, the projects building plan description and the standards and norms on it and the observations made during the installation and after commissioning.

As a result of this thesis the environmental factors that affecting the bottom locks 'desired function and the component tolerances affect to the mitre gates structure were comprehended. The end of this thesis is presented alternative designs to execute the mitre gates desired function.

Keywords: Canal locks, bottom mitre gates, water pressure, thermal expansion

Sisällys

Käsitteet.....	6
1 Johdanto.....	7
2 Saimaan kanava ja sen historia.....	8
3 Standardit.....	9
4 Alaporttilehdet urakasta.....	10
4.1 Sulun rakenne.....	11
4.2 Purettavat rakenteet.....	13
4.3 Porttilehtien rakenne.....	14
4.4 Porttilehtien asennusta edeltävät työt.....	15
4.5 Porttilehtien asennus.....	18
4.6 Jälkivalut.....	19
5 Osat ja niiden toleranssit.....	20
5.1 Alus- ja vastinlevyt.....	20
5.2 Kumilevyllaakeri.....	21
5.3 Irrotuslevy.....	21
5.4 Pielet.....	21
5.5 Keskinivel.....	22
5.6 Toleranssien vaihtelevuus.....	23
6 Lämpötilojen vaihtelevuus ja sen vaikutus porttilehdissä.....	26
6.1 Lämmönjohtuminen.....	27
6.2 Lämpölaajeneminen.....	27
6.3 Lämpöjännitys.....	30
6.4 Lämpötilaseuranta.....	31
6.5 Työnaikaisen lämpötilan huomioita.....	32
6.6 Käyttöönnoton jälkeisiä huomioita.....	33
6.7 Lämpölaajeneminen keskinivelessä.....	36
7 Vedenpaineen vaikutus.....	37
7.1 Vedenpaineen voima porttilehdille.....	37
7.2 Porttilehden geometrian vaikutus vedenpaineelle.....	38
8 Vaihtoehtoinen toteutustapa.....	42
8.1 Lämpötilan tasaaminen.....	42
8.2 Jälkivalut.....	43
8.3 Osat.....	47
8.4 Tiivisteen valinta.....	50
8.5 Lämpölaajeneminen ja toleranssit.....	51
8.6 Porttilehden värin valinta.....	51
9 Päätelmät.....	53
Lähteet.....	55

Liitteet

Liite 1. SFS-EN 1090-2 taulukko 4 Ruostumattomien terästen tuotestandardit

Liite 2. SFS-EN 9444-2 taulukko 1 paksuustoleranssit

Liite 3. SFS-EN 10088-4 teräslajin 1.4162 osa

Liite 4. Teräslajin 1.4162 materiaalitodistus

Liite 5. Iso 3302-1 taulukko 1 kumilevylaakerin muototoleranssi

Liite 6. Vedenpaine yksinkertaistetussa mallissa

Liite 7. Särkijärven lämpötilatarkkeita

Käsitteet

Tässä työssä käytettäviä käsitteitä:

Standardit	Organisaation esittämiä määritelmiä, siitä miten jokin asia tulisi tehdä. Standardeja on sekä kansanvälisiä että maakohtaisia.
Jalka- ja kaulalaakeri	Sulun seinään asennettujen konsolien sisällä olevat laakerit, joiden on tarkoitus kannatella porttilehtiä.
IT-betoni	Erittäin notkea, hyvin valuva ja leviävä betoni, joka tiivistyy erottumatta oman painonsa avulla ilman tärytystä. Käytetään mm. vaikeasti valettavissa rakenteissa.
Pielitiivisteet	Pielirakenteissa olevat kumilevylaakereiden on tarkoitus toimia samalla pielen tiivisteinä, jottei porttilehtien välistä tai reunoista vesi pääse vuotamaan alavirran puolelle.
Alaportin kynnys	Sulun pohjassa oleva kynnys, johon porttilehdet tukeutuvat kiinni ollessaan. Kynnystä vasten on porttilehtien alapäässä myös kumilevylaakerit.
BY 201	Betonitekniikan oppikirja, jonka suomen betoniyhdistys on julkaissut vuonna 2018.

1 Johdanto

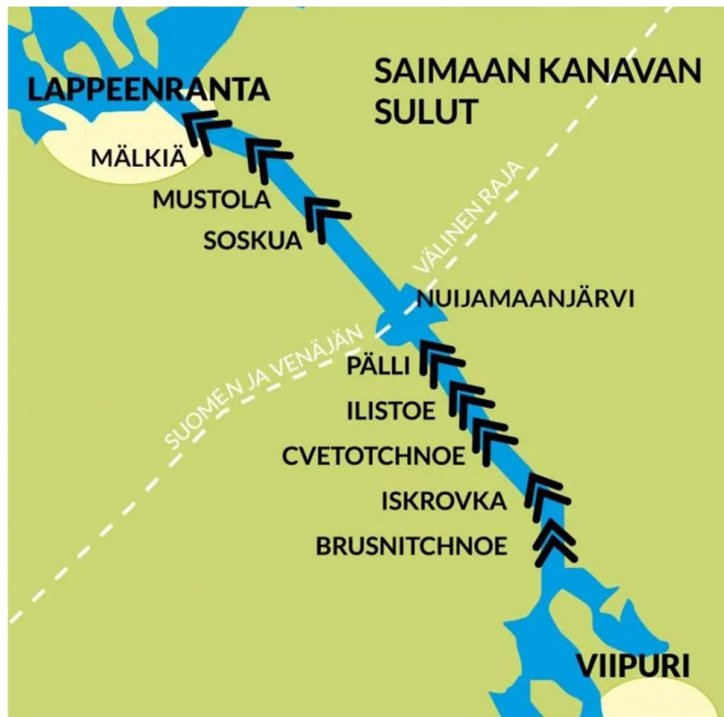
Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakennussuunnitelmaselostuksen pohjalta Saimaan kanavan alaporttien tiiveyttä. Opinnäytetyö on rajattu terässiin porttilehtiin sekä niiden varusteisiin, vedenpaineen vaikutukseen porttilehdelle ja porttilehtien lämpölaajenemiseen. Opinnäytetyö ottaa kuitenkin kantaa myös sulun rakenteisiin, koska nämä vaikuttavat oleellisesti porttilehtien rakenteen toimivuuteen.

Opinnäytetyö keskittyy rakennussuunnitelmaselostuksen mukaisten osien toleransseihin, etenkin keskinivelen ja ulkopieliin osien asentamiseen ja niiden tuomiin haasteisiin. Tutkimusmenetelminä tarkastellaan kyseisten osien toleransseja, jotka löytyvät rakennussuunnitelmaselostuksesta, eurokoodeista ja Suomessa voimassa olevista kansallisista standardeista. Osien toleranssit on kerätty taulukoksi ja verrattu tätä rakennussuunnitelma selostuksen esitettyihin toleransseihin.

Tämän lisäksi käyttöönoton jälkeen porttilehdissä huomattiin pieniä rakoja, joita tutkitaan tässä työssä. Opinnäytetyössä on kerättyä dataa porttilehtien lämpölaajenemisesta koko urakan ajalta. Vedenpaineen vaikutus porttilehdelle arvioidaan laskemalla. Työn lopussa pyritään löytämään ratkaisuja porttilehtien tiiveyteen vaikuttavista asioista.

2 Saimaan kanava ja sen historia

Saimaan kanavan päätarkoituksena on yhdistää Saimaan vesistöalue Viipurin kautta Suomenlahteen. Saimaan kanavan kokonaispituus on 42,9 km, josta 23,3 km on Suomen puoleista osuutta ja 19,6 km Venäjän puolella. Kokonaispudotus Saimaalta Suomenlahdelle on keskimäärin 75,7 metriä, ja se on porrastettu kahdeksalla sululla. (Saimaan travel.) Kuvassa 1 on esitetty karttapohjalla Saimaan kanavan sulkujen sijainnit.



Kuva 1. Yleiskarttakuva Saimaan kanavan suluista (Saimaan travel)

Ensimmäisen kerran yritettiin Saimaata kanavoida Viipurin suuntaan jo 1500-luvun alussa. Kuitenkin Ruotsin mielenkiinto Saimaan ja Suomenlahden väliseen vesitiehen väheni Stolbovan rauhan jälkeen vuonna 1617. Mielenkiintoa heikensi myös ymmärrys sulkujen tarvittavasta määrästä tämän ajan tekniikalla. 1800-luvulla, kun myös Viipurissa alettiin osoittaa mielenkiintoa Saimaan kanavaa kohtaan, ryhdyttiin asiaa ajamaan pontevammin. Kanavan rakentaminen käynnistettiin 16.6.1845 ja Kanavasta tuli 59,3 km pitkä, josta 36,1 kilometriä oli kaivettua kanavaa. Kanava valmistui vuonna 1856 ja vihittiin suurin juhlallisuuksin 7. syyskuuta samana vuonna. Kanavassa kulki 1890-luvulle saakka aluksia 2000-3000

kpl vuosittain, mutta sitten liikenne lisääntyi ja esimerkiksi vuonna 1900 kanavan läpi kulki jo lähes 6 000 alusta.

Kanavan laajentamista käsiteltiin useita kertoja 1910- ja 1920-luvuilla. Kanavaa ryhdyttiin uusimaan vuonna 1927 rakentamalla Mälkiään uusi sulku. Sulkujen uusiksi mitoituksi tulivat: pituus 75 m, leveys 10,6 m ja syväys 4,5 m. Työt etenivät vähäisistä määrärahoista huolimatta, mutta vuonna 1934 rakennustyö käynnistyi täydellä teholla. Ennen sodan puhkeamista vuonna 1939 ehdittiin rakentaa monta uutta sulkua.

Sodan jälkeen tehtiin selvityksiä ja näiden jälkeen päätettiin kanava rakentaa aluksille, joiden pituus on 78 m, leveys 11 m, syväys 4,2 m ja mastonkorkeus 24,5 m. Avokanavaosuuksien pohjan leveydeksi päätettiin 28-45 metriä. Kanavan rakentaminen alkoi 15. marraskuuta vuonna 1963. Kanava avattiin liikenteelle vuonna 1968. Siinä oli kahdeksan sulkua, joissa putouskorkeudet olivat 5,5–12,7 m. Sulkupaikoiksi tulivat Suomen puolelle Mälkiä, Mustola ja Soskua. Venäjän puoleiset ovat Pälli, Lietjärvi, Rättijärvi, Särkijärvi ja Juustila. Kanavaa on korjattu valmistumisen jälkeen useita kertoja. Nykyisin kanavan kautta kuljetetaan tavaraa noin 2,4 miljoonaa tonnia vuodessa. (Hurskainen 2005.)

3 Standardit

Urakassa käytetyt standardit on esitetty rakennussuunnitelmaselostuksen kohdassa yleiset ohjeet. Työssä noudatettiin seuraavia normeja ja ohjeita:

- rakennussuunnitelmaselostuksen laatuvaatimukset
- rakentamishetkellä voimassa olevia ohjeita (InfraRYL 2010/1)
- infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1 ja 3
- SILKO ohjeistusta, mikäli siihen viitattu
- SFS-EN 1090-2 (Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset)
- teräsrakenteiden toteutus NCCI T, Liikenneviraston ohjeita 28/2014
- tilaajan antamia muita ohjeita ja määräyksiä
- materiaalityöntekijän antamia ohjeita.

Mikäli ohjeiden tai normien välillä on ristiriitaisuuksia, tulee noudattaa SFS-EN 1090-2 ja soveltamisohjeen NCCI T määräyksiä. (Rakennussuunnitelmaselostus 2017, 5)

Rakennussuunnitelmaselostus sisältää käytettävien materiaalien standardit, jotka ovat:

- SFS-EN 10025-2 (Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot)
- SFS-EN 10088-4 (Ruostumattomat teräkset. Osa 4: Rakennuskäyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot)
- SFS-EN 10088-2 (Ruostumattomat teräkset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot)
- SFS-EN 1337-3 (Rakennelaakerit. Osa 3: Kumilevy-laakerit. Rakennussuunnitelmaselostus 2017, 10)

Työssä on tutustuttu yllä mainittuihin standardeihin, jotka johdattavat muototoleranssit seuraaviin standardeihin:

- ISO 3302-1: (Kumit: Tuotteiden toleranssit osa 1)
- EN-ISO 9444-2. (Kuumavalssatut ruostumattomat teräkset. Mitta- ja muototoleranssit. Osa 2: leveät nauhat ja levyt)
- Materiaalitodistus 1.4162 teräslaji (Liite 1).

4 Alaporttilehdet urakasta

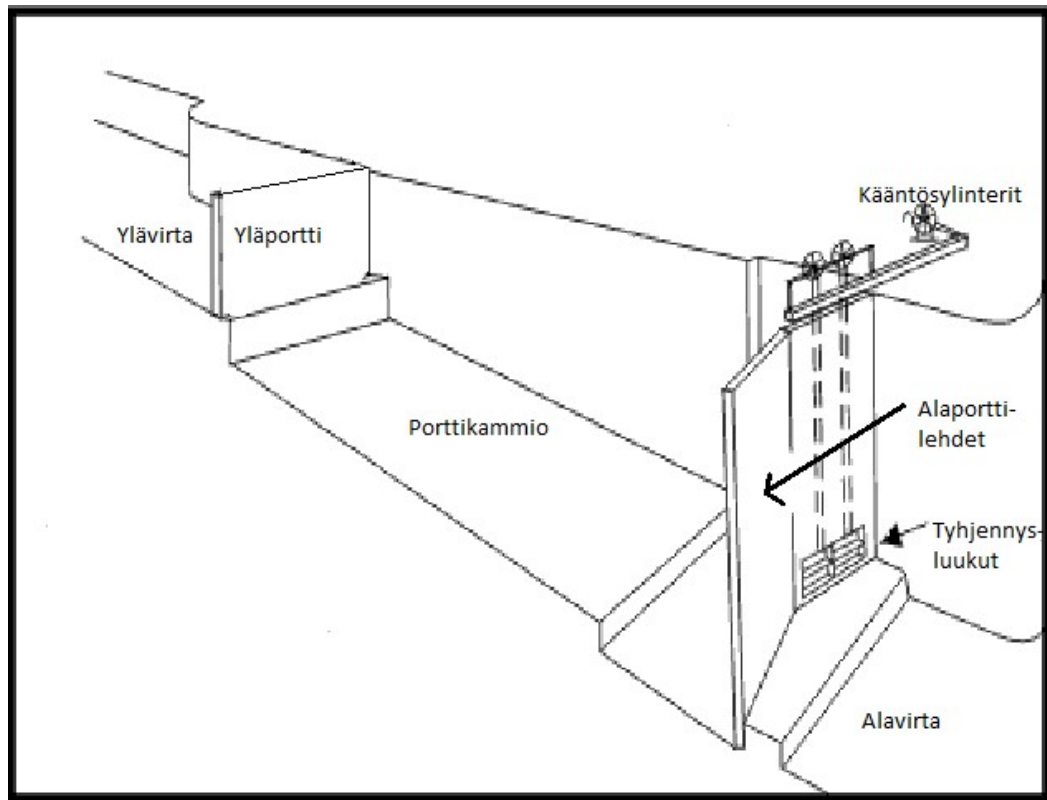
Urakka suoritettiin talvisesonkina. Ensimmäisenä talvena 2018 vaihdettiin Mustolan, Soskuan ja Brusnitchnoen (Juustila) porttilehdet. Seuraavana talvena 2019 Pällin, Ilistoen (Lietjärven), Cvetotchnoen (Rättijärven) ja Iskrovkan (Särkijärven) porttilehdet. Vaihdeettavat alaporttirakenteet ovat pääosin 1960-luvulta ja niitä on korjattu useampaan kertaan vuosien kuluessa. Porttilehdet ovat taloudellisen ja teknisen käyttöikänsä päässä (Rakennussuunnitelmaselostus).

Ensimmäisenä urakan alkaessa porttilehdet kuljetettiin työmaalle ja oikealle sülle. Puolet kuljetetaan vesiteitse kanavaa pitkin ja toiset Nuijamaan tullin läpi

rekoilla. Porttilehdille rakennettiin sääsuoja, jotta ne pysyvät sulana ja niiden varustelu voi alkaa. Alaporttilehtien kanavan puolelle tehtiin työpadot, jotta sulkua saatiin kuivaksi. Jokaisen sulun yläportit suljettiin ja lukittiin yläasentoon työn ajaksi. Tämän lisäksi syöksykynnysten päälle tehtiin parruista työtaso, jotta työskentely kuukulkijoilla olisi helpompaa sulun pohjalla. Työpadot kuitenkin vuosivat jonkun verran, minkä johdosta vettä jouduttiin pumppaamaan työpadon yli alakanavaan. Seuraavissa luvussa 4.1 on esitetty urakan työvaiheet vaihe vaiheelta, jotta lukijalle tulee käsitys koko urakasta ja miten aiemmat työvaiheet vaikuttavat opinnäytetyön lopputulokseen. Urakka suoritettiin tammi-toukokuun välillä neljällä sululla. Kireä aikataulu ja talven ankarat olosuhteet sekä vastaavanlaisten töiden kokemuksen puute toivat haasteita urakalle. Talviolosuhteet hallittiin porttilehtiparin sivuille ja päälle rakennetulla, lämmitetyllä sääsuojalla.

4.1 Sulun rakenne

Sulkujen pituus on 85 m, leveys 13,2 m, syvyys 5,2 m ja putoamiskorkeus vaihtelee 5,5–12,2 m välillä. Sulussa saa ilman erikoislupaa liikennöidä alukset, joiden mitat ovat enintään 82,5 m pituutta, 12,6 m leveyttä ja maston korkeus veden pinnasta 24,5 m. Sulut ovat valmistettu teräsbetonista ja suurin osa on perustettu kallionvaraisesti. Sulun jalka- ja kaulalaakerit kiinnitettiin betonin läpi kallioon ankureilla. (Väylävirasto 2018) Kuvissa 2 ja 3 on esitetty Saimaan kanavan sulkujen rakenne.



Kuva 2. Sulun periaatekuva (Rideau Waterway)



Kuva 3. Sulun havainnekuva Mustolasta. (Museovirasto)

Vasemmanpuoleinen sulku on käytössä oleva ja oikeanpuolinen on vanha sulku, joka on museokohde.

4.2 Purettavat rakenteet

Varsinaisesti uusien porttirakenteiden lisäksi urakkaan kuului porttikammion seiniin tehtävät muutostyöt. Nykyinen alaportti poistettiin kokonaisuudessaan. Kuvasta 4 nähdään, kuinka porttilehtien purkaminen tapahtui. Ne leikattiin 2–3 osaan korkeussuunnassa ja nostettiin ylös.



Kuva 4. Pällin sulun vanhojen porttilehtien purku

Kun vanhat porttilehdet oli nostettu kokonaisuudessaan pois, aloitettiin sulku-
muurien betonirakenteiden suunnitelmien mukaiset muutokset, jotta uudet port-
tilehdet ja niiden osat mahtuivat porttikammariin. Ensimmäiseksi poistettiin van-
hat teräksiset käntölaakerit pielistä, jotta päästiin käsiksi kaulalaakereihin ja
käntösyntereihin. Myös sulun pohjalla oleva jalkalaakeri poistettiin alusvalui-
neen. Kaulalaakerin ankkurointipultit poistettiin komeron seinäpinnan ulkopuoli-
silta osilta. Vanhan sulkuportin käntövarsien kotelot puhdistettiin, asennettiin
tartunnat, raudoitettiin ja betonoitiin täyteen. (Rakennussuunnitelmaselostus.)

4.3 Porttilehtien rakenne

Uudet porttilehdet valmistettiin pääosin teräksestä S355K2+N ja ne valmistettiin
Normek Oy:n Oulun terästuotantolaitoksella. Porttilehtien painot vaihtelivat 60
000-80 000 kg välillä. Uudet porttilehdet ovat toiminnaltaan vanhojen kaltaisia
hydraulisesti toimivia salpaporotteja, mutta ne poikkeavat lämpöeristettynä kotelo-
rakenteena entisestä levymäisestä vaaka- ja pystyjäykistetyistä portista ja ne tu-

keutuvat toisiinsa keski- sekä ulkopielistä sulkumuureihin koko korkeudeltaan kumilevylaakereiden välityksellä. Nämä toimivat samalla pielitiivisteinä. Teräsrakenteiden toteutusluokka on EXC3/SFS EN 1090-2, jonka valitsee suunnittelija ja väylävirasto hyväksyy. Porttilehtien leikkausluokan tulee vastata ISO 9013-332 mukaista leikkauslaatua. Terästyön laatuaste on 05/ SFS 8145.

Portin korkeusmitan sallittu mittapoikkeama on ± 10 mm ja porttipuoliskon kokonaisleveyden ± 5 mm. Vaakajäkistevälin sallittu mittapoikkeama on ± 3 mm. Porttilehtien ristimitan toleranssi ± 10 mm sekä kaula- ja jalkalaakereiden akseleiden sijainti samalla pystyakselilla, joiden maksimipoikkeama toisiinsa nähden on 5 mm. Porttilehtien lastauksen ja toimituksen kohteeseen esti minkä tahansa toleranssin rajan ylitys. (Rakennussuunnitelmaselostus.)

4.4 Porttilehtien asennusta edeltävät työt

Purettujen rakenteiden jälkeen betonisiin sulkumuureihin tehtiin muutoksia ennen uusien porttilehtien laakereiden asennusta ja paikoilleen nostoa. Suurin muutos toteutettiin nykyisten sulkumuurien yläosissa olleiden kääntösynterien ja kaulalaakerin käyttökammioiden betonointi. Tämä tila betonoitiin täyteen sulkumuurin yläosan tasolle. Uusien porttilehtien kääntösynterit on sijoitettu heti sulun betonirakenteiden yläpuolelle, joka mahdollistaa tarvittaessa sulun veden pinnan noston nykyistä sulutuskorkeutta ylemmäksi. Kaikilta täyttövaluun rajautuvilta betonipinnoilta poistettiin heikko pintabetoni piikkaamalla pinnat kauttaaltaan kovaan betoniin asti. Nykyisen tilan pielet ja pohja varustettiin betoni-terästartunnoin ja uusi betonivalu raudoitettiin suunnitelmien mukaan. Uuden sulkuporttilehden kääntösynterit takapään synterikorvakkeen ankkurointiteräksiksi asennettiin kuumasinkityt harjateräsankkuripultit (9 kpl Peikon HPM L-pultteja). Kuvassa 5 on esitetty havainnekuva synterikorvakkeen pulttiryhmälle ja vanhojen kääntösynteritilojen täyttövalu.



Kuva 5. Kääntösynterikammioiden havainnekuva

Uuden kääntösynterian ankkuripulttien oikean aseman varmistamiseksi varsinaiseen valuun jätettiin ankkuripulttien jälkivalua varten noin 600 mm syvä varaus, johon ankkuripultit valettiin juotosbetonilla kiinni vasta kääntösynterian paikoilleen asennuksen sekä tarkemittauksen jälkeen. Porttikomeron yläosassa porttipuoliskon kärjen puolella oleva kolmion muotoinen laattauloke, jonka alle nykyisen portin kärki asettuu portin auki ollessa, sahattiin ulokkeen alla olevaa seinäpintaa pitkin pois. Koska uuden portin yläpinta nousee sulkumuurin yläreunan tasolle asti, tämä laattauloke estää portin kääntymisen porttikomeroon asti. Jalkalaakerin kohdalla jalkalaakerin akselin konsolin jälkivaluvaraus piikattiin muuriin, johon porattiin reiät, joita oli 9 kpl ja ne olivat pituudeltaan 2000 mm ja halkaisijaltaan 60 mm. Ankkurikappaleiden ankkurointipultteja varten. Tämän lisäksi entisen jalkalaakerin alustavalu poistettiin tarpeellisilta osilta ja piikattiin sulun pohjaan varauskolo jalkalaakerin alle. Kuvasta 6 nähdään tilanne pielijien osalta ennen uusien porttilehtien nostoa paikoilleen.



Kuva 6. Sulun pieli, jossa asennettu konsolit ja pielen vaakaraudoitus

Jalkalaakerin kartiotappi, säätörenkaat ja laakeripesä laakereineen asennettiin ankkurikappaleeseen ennen portin paikoilleen asentamista. Tässä vaiheessa jalkalaakerin akselin tukilevy oli vielä asentamatta paikoilleen ja alustavalu tekemättä. Pieli- ja keskinivelen kumilevyalaakerit, jotka on vulkanoitu aluslevyihinsä, sekä niiden vastinlevyt asennettiin paikoilleen jo konepajalla ennen porttien paikoilleen nostamista. Pielen puolella laakeri aluslevyineen ja laakerin pielen puoleinen vastinlevy puristettiin pieliterästä vasten M16 asennusruuveilla niin, että laakeri on tiiviisti vastinlevyään vasten. Tässä vaiheessa peililevyn puoleisella reunalla sijoitetaan laakeri- ja vastinlevyn väliin ylimääräinen mutteri, joka kiristetään laakerilevyä vasten niin, että laakerilevyt eivät putoa pois paikoiltaan irrotettaessa ruuvit sisäkierretartunnoista ennen kuin porttia avataan ensimmäistä kertaa. Keskinivelen puolella vastinlevy kiinnitetään itäiseen eli alavirran puolelta

katsottuna oikeanpuoleisen porttipuoliskon pielilevyyn ja laakeri aluslevyineen alavirran puolelta katsottuna vasemmanpuoleiseen porttipuoliskoon niin, että molemmat levyt ovat noin 25 mm:n päässä pielilevyistä. Keskinivelen pielilevyissä on tätä varten M16–40 kierrereiät laakerin aluslevyssä ja vastinlevyssä olevien reikien kohdilla. (Rakennussuunnitelmaselostus.)

4.5 Porttilehtien asennus

Porttilehdet nostettiin paikalleen 500T nosturilla häntäkonetta käyttäen. Porttipuoliskot asennettiin ensin teoreettiseen kiinniasentoonsa niin, että porttipuoliskojen välinen keskinivel asettuu suunniteltuun asemaansa ja pystyyn sekä kynnystiiviste kynnysterästä vasten. Tällöin keskinivelen kohdalla portin pielilevyjen välinen vapaa etäisyys on 89 ± 10 mm, jolloin kumilaakerin tulee olla kiinni vastinlevyssään. Portin puoliskot tuettiin tähän asentoon. Tällöin kaula- ja jalkalaakerien portissa olevien tukirakenteiden tulee asettua 10 mm tarkkuudella oikeisiin asemiinsa suhteessa sulkumuriin asennettuihin ankkurointikappaleisiinsa. Kun porttilehdet saatiin tarkasti oikeaan asemaan, lukittiin porttilehtien yläosat sitova lukitustappi kiinni. Tämän jälkeen puristettiin keskinivelen laakerin alus- ja vastinlevy, joiden välissä kumilevy-laakeri on vulkanoituna aluslevyynsä, M16- ruuveilla ja muttereilla poispäin pielilevyistä niin, että kumilevy-laakeri asettuu koko portin korkeudelta tiiviisti sekä pystysuorasti vastinlevyä vasten ja keskelle pielilevyjen välistä portin keskisaumaa. Kuvassa 7 keskinivel edellä mainitusti asennettuna. (Rakennussuunnitelmaselostus.)



Kuva 7. Porttilehtirakenteen keskinivel asemituna

4.6 Jälkivalut

Yksinkertaistettuna keskinivel ja pielet valettiin puristuksiin IT-betonilla sekä keskinivelen epoksi tarttuu ylemmän kuvan mukaisesti porttilehtien kiinteisiin pielilevyihin ja teräslevyihin puristaen kumilevyllaakerin niiden väliin. Porttilehtien keskinivel valettiin kolmekomponenttisella MasterFlow 648 epoksimassalla, jonka tuli saavuttaa 100 MPa puristuslujuusvaatimus.

Epoksivalulle tehtiin päätymuotit ja porttilehdet tuettiin liikkumattomaksi siten, että ne pysyvät paikallaan epoksivalussa. Valu tapahtui nostamalla valunpintaa molemmin puolin tasaisesti ylöspäin Y-haaran avulla.

Kun edellä mainitut epoksivalut olivat kovettuneet, valettiin porttien ulkopielen puoleiset jälkivalut IT-betonilla S40/50-3, P50 samanaikaisesti kummassakin pielessä alhaalta ylös asti. Ennen valua ulkopielen puoleiset kumilevyllaakerit alus-

levyineen sekä laakerin alustavalun puoleinen vastinlevy oli puristettu jo konepajalla asennusruuveilla suunnitelmien mukaan 40 mm:n paksuista portin kiinteää pieliilevyä vasten. Portin jo valmis keskinivel piti tukea valun ajaksi sulun suunnassa liikkumattomaksi. Kummankin portin pielen alustavaluun asennettiin suunnitelmien mukaisesti mahdollisia lämmityskaapeleita varten 3 kpl ruostumattomia kaapeliputkia.

Asennus jatkuisi pääkohtaisesti kaula- ja jalkalaakerin asennuksien kanssa. Seuraavaksi porttilehtien tuentaan tarkoitetut rakenteet voidaan purkaa ja aloittaa porttien varustelu. Tämän jälkeen porttilehtien varustus ja toiminta testataan. (Rakennussuunnitelmaselostus.)

5 Osat ja niiden toleranssit

Rakenteen tarkoituksena on tiivistää porttilehdet yhteen vedenpaineen avustuksella. Keskinivel on porttilehtien välissä, kun taas ulkopieliirakenne on molempien porttilehtien toisessa päässä sulkurakenteita vastaan. Sulun rakenteisiin valetaan alustavalu, johon aluslevy jää kiinni. Vaikka keskinivel ja ulkopielet ovatkin eri rakennetta, niiden osat ovat samat kuten myös tarkoitus. Molemmissa rakenteissa on alus- ja vastinlevyt, kumilevy-laakerit ja irrotuslevy. Osat ja niiden toleranssit käsitellään seuraavissa luvuissa.

5.1 Alus- ja vastinlevyt

Alus- ja vastinlevyt ovat valmistettu Lean Duplex erikoisteräksestä 12 mm paksuina kuumavalsattuina levyinä. Lean Duplex teräksellä on austeniittis-ferriittinen mikrorakenne, jonka ansiosta sillä on hyvä jännitys- ja väsymiskorroosion kesto. Materiaalina Lean Duplex on yhdistelmä korkeaa lujuutta, ohutta seinämäpaksuutta ja hyvää korroosiokestävyyttä. Se mahdollistaa kevyen, kestävän ja huoltovapaan lopputuloksen. (Stalatube 2014.)

Alus- ja vastinlevyjen paksuustoleranssit löytyvät standardin 1090-2 sivulla 28 taulukossa, jotka ohjaavat liitteen 1 mukaisesti standardiin EN ISO 9444-2. Paksuustoleranssitaulukko löytyy EN-ISO 9444-2 taulukosta liitteestä 2. Kuitenkin ra-

kennussuunnitelmaselostuksen materiaalit kappaleessa ilmoitetaan alus- ja vastinlevyjen standardiksi SFS-EN 10088-4. Kyseinen standardi ohjaa liitteen 3 mukaisesti Outokummun sivuille. Liitteessä 4 on Outokummun materiaalitodistus. Sen mukaan Lean Duplexin mitta- ja muototoleranssit on esitetty siis myös standardissa EN-ISO 9444-2.

5.2 Kumilevylaakeri

Kumilevylaakerit ovat yksilevylaakereita poikkileikkaukseltaan 15x300 mm. Kumin leikkausmoduulin tulee olla 1,2 MPa ja kovuuden tulee täyttää 60 N/mm² IRH mittarein mitattuna. Laakerit kiinnitetään vulkanoimalla 12 mm aluslevyihin. Laakerit kootaan 1000 mm pituisista osista lukuun ottamatta alimpia laakereita. Kumilevylaakerit ovat paksuudeltaan 15 mm ja niiden muovausluokka on M4, joten sen toleranssin on ilmoitettu ISO 3302-1 standardissa. Liitteessä 5 on taulukko 1, jossa on ilmoitettu kumilevylaakerin toleranssi.

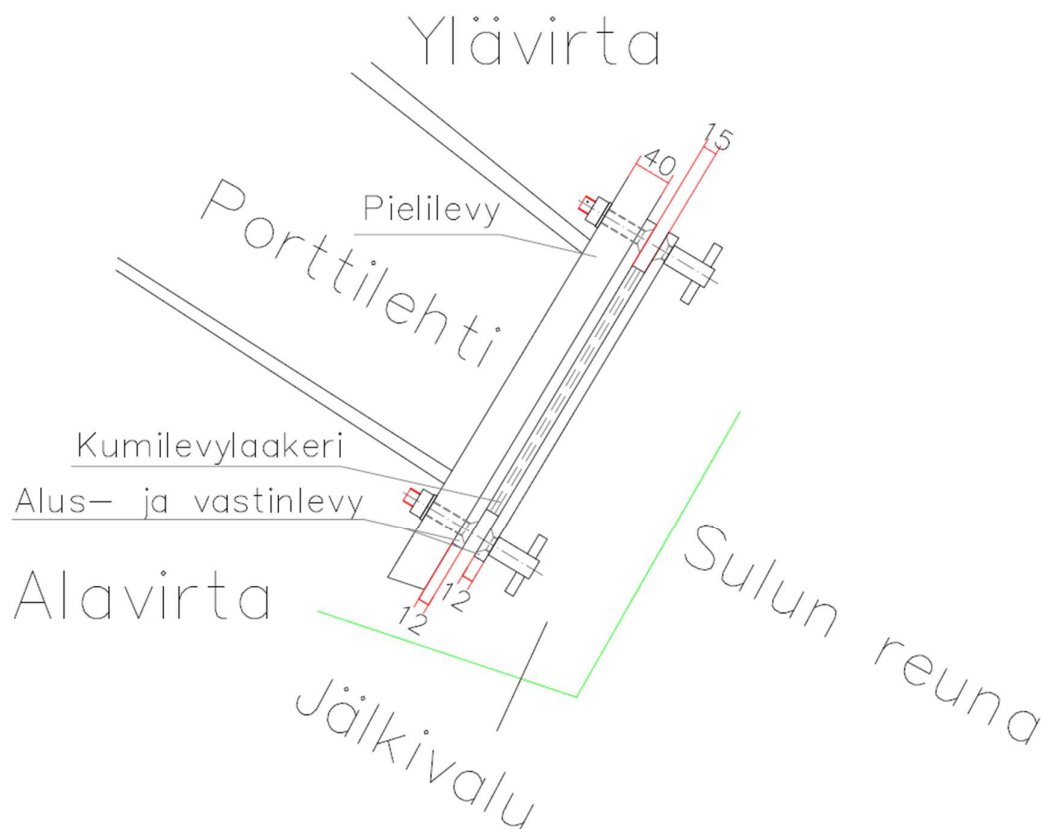
5.3 Irrotuslevy

Laakereiden irrotuslevyt ovat määrätty standardin SFS-EN 10088-2 mukaisesti. Teräksen laatunumero on 1.4301 ja liitteessä 1 on standardin ISO-EN 9444-2 taulukko 1 mukaiset mitta- ja muototoleranssit. Irrotuslevyjen tarkoituksena on helpottaa porttilehtien laakereiden vaihtoa eli ne ovat kunnossapitosyistä aluslevyjen alla.

5.4 Pielet

Pielen osat koostuvat kumilevylaakerista, alus- ja vastinlevyistä. Kumilevylaakeri ja sen vastinlevy on puristettu pielilevyyn kiinni M16 ruuveilla kuvan 8 mukaisesti.

Oikea ulkopieli

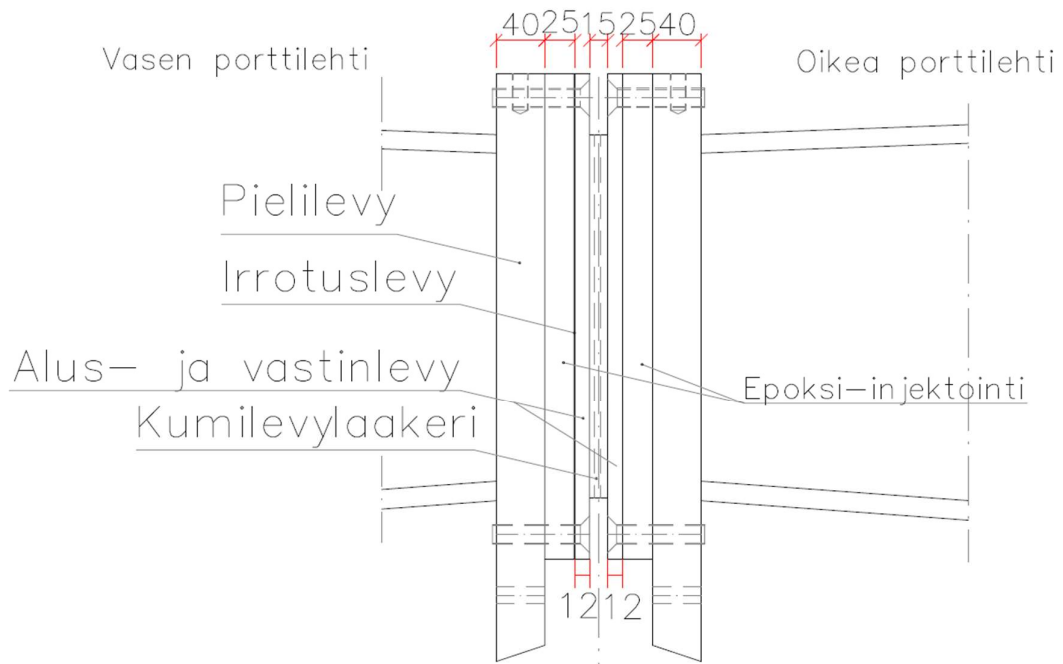


Kuva 8. Pielirakenteen havainnekuva

5.5 Keskinivel

Pielen rakenteen omaisesti keskinivelessä on myös kumilevylaakeri, alus- ja vastinlevy, irrotuslevy ja molemminpuolinen epoksivalu. Keskiniveltä alavirran puolelta katsottaessa vasemmanpuolisessa porttilehdessä on laakeri aluslevyineen ja oikealla puolella vastinlevy kuvan 9 mukaisesti.

KESKINIVEL, TASOKUVA



Kuva 9. Keskinivel tasokuvassa ja nimetyt rakenneosat

Irrotuslevy tulee aluslevyn ja kiinteän pielilevyn väliin, jolloin laakerin vaihto onnistuu helpommin. Epoksivalun tarkoituksena on täyttää irrotus- ja vastinlevyn sekä porttilehtien kiinteän pinnan väli kutistumattomana materiaalina. Tämän tarkoituksen saavuttamiseksi epoksivalua on nostettava molemmilta puolilta yhtäaikaaisesti samaan tahtiin ylös. Keskinivelen kohdalla laakerin puoleinen elementti on tehty 1000 mm kokoisista osista. Laakeri on vulkanoitu aluslevyyn kiinni. Toisen porttilehden puolella vastinlevy on taas tehty noin 4000mm:n kokoisista palloista.

5.6 Toleranssien vaihtelevuus

Tilaaaja on vaatinut porttilehtien sijainnin toleranssiksi 0,5 mm. Kun tähän ei huomioida itse porttilehtien sallittuja valmistustoleransseja vaan otetaan tarkasteluun keskinivel ja ulkopielet, jotka ovat rakenteeltaan samoja, niin päästään alapuolen taulukkoon. Kuvassa 10 on koottu standardeista löytyneet osien paksuustoleranssit ja kuvassa 11 on pielirakenteen kokonaismuutos.

Toleranssit

<u>paksuus(mm)</u>	<u>Materiaali</u>	<u>min</u>	<u>max</u>	<u>vaihtelu</u>	<u>yksikkö</u>
12	Lean Duplix	-0,46	0,46	0,92	mm
15	Kumilaakerilevy	-0,8	0,8	1,6	mm
2	Laakerin irrotuslevy	-0,22	0,22	0,44	mm

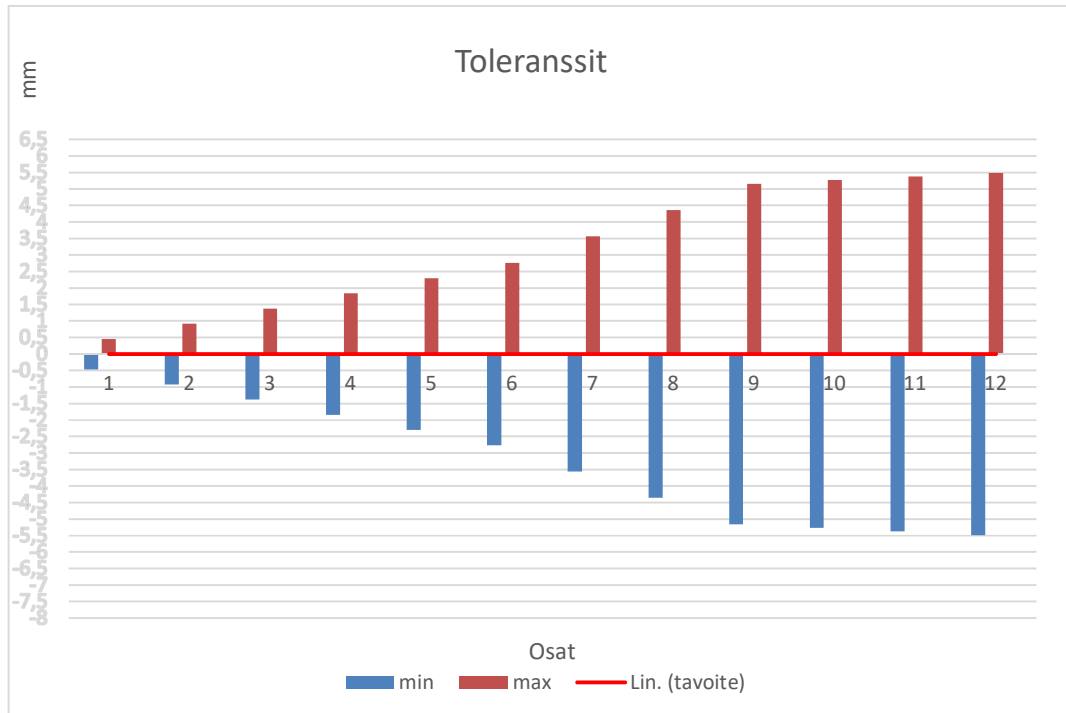
Kuva 10. Kerätty kaikki pielirakenteen osat yhteen.

Pieli

<u>paksuus(mm)</u>	<u>Materiaali</u>	<u>määrä</u>	<u>min.</u>	<u>max.</u>
12	Lean Duplix	2	-0,92	0,92
15	Kumilaakerilevy	1	-0,8	0,8
2	irrotuslevy	1	-0,22	0,22
41			-1,94	1,94
Muutos	4,7	%		

Kuva 11. Pielirakenteen osien toleranssit laskettuna yhteen.

Kun kuvitellaan tilanne, jossa jokainen nivelen osa on toleranssinsa minimimitoissa, seuraukset ovat merkitykselliset rakenteelle. Taulukon 2 mukaisesti pielirakenteen osien yhteenlaskettu minimi valmistustoleranssi on -1,94 mm. Vastavasti jokaisen nivelen rakenteen yhteenlaskettu minimi on -5,82 mm. Sama tilanne on maksimi valmistoleransseissa eli rakenne on +5,82 mm verrattuna rakennussuunnitelmanselostuksen arvoihin. Kuva 12 osoittaa, miten suuria heittoja tulee, vaikka osat ovatkin läpäisseet toleranssinsa.



Kuva 12. Osien toleranssit yhdistetty taulukoksi, josta selviää toleranssien vaikutus

Toleranssien vaihtelulla on jo itsessään suuri vaikutus rakenteen toimivuudelle, kuitenkin rakennussuunnitelmaselostuksen työohjeen mukaan kumilevylaakeri tulee vulkanoida aluslevyyn 1000 mm mittaisissa elementtiosissa. Tämä elementti on muutoin täysin sama, kun pieli, mutta vastinlevyä ei huomioida mukaan. Kuvassa 13 on määritetty vaihteluväli osien toleranssien mukaan kyseiselle laakerielementille.

1000mm laakerielementti

<u>paksuus(mm)</u>	<u>Materiaali</u>	<u>määrä</u>	<u>min.</u>	<u>max.</u>
12	Lean Duplix	1	-0,46	0,46
15	Kumilaakerilevy	1	-0,8	0,8
2	irrotuslevy	1	-0,22	0,22
41			-1,48	1,48
Muutos:	3,6 %			

Kuva 13. Laakerielementin vaihteluväli

Kumilevylaakeri, joka vulkanoidaan aluslevyyn laakerielementissä, on 998 mm ja se luo tilanteen, jossa myös rakenne altistuu rakoilulle. Koko rakenteella on toleranssien pohjalta vaihteluväli 11,42 mm. Kuvassa 14 on määritetty poikkeamat ja osien prosentuaalinen osuus rakenteen paksuudesta.

Koko rakenne	
Maksimi poikkeamat (mm)	% rakenteen paksuudesta
-5,82	-4,732 %
5,82	4,732 %
vaihteluväli(mm)	11,64

Kuva 14. Koko rakenteen ainevahvuuksien vertailu

Rakennussuunnitelmaselostuksessa on kuitenkin viittaus rakoihin pystysuunnassa mitä osien välissä saattaa esiintyä. *Tarpeen vaatiessa kumilevylaakereiden välit tiivistetään ylävirran puolelta koko portin korkeudella tarkoitukseen sopivalla tilaajan hyväksymällä massalla.* (Rakennussuunnitelmaselostus.)

6 Lämpötilojen vaihtelevuus ja sen vaikutus porttilehdissä

Suomen ilmasto on niin sanotusti väli-ilmasto, johon kuuluu sekä merellisen että mantereisen ilmaston piirteitä. Sää Suomessa riippuu suuresti siitä, mistä suunnasta ilmavirtaukset tulevat ja miten säähäiriöt, eli matala- ja korkeapaineet, kulloinkin ovat sijoittuneet. Suomi sijaitsee keskileveysasteiden länsituulten vyöhykkeellä, trooppisten ja polaaristen ilmassojen raja-alueella, missä säätyypit vaihtelevat erityisesti talvella nopeasti. Yleisimmin ilmavirtaukset käyvät Suomessa lounaan suunnasta. Suomen keskilämpötila on useita asteita korkeampi kuin useimmilla muilla tällä leveyspiirivyöhykkeellä sijaitsevilla manneralueilla. Talven alimmat lämpötilat ovat Lapissa ja Itä-Suomessa -45... -50°C. (Ilmasto-opas.)

Seuraavaksi kappaleissa on tutkittu porttilehtiin kohdistuvia ilmaston aiheuttamia lämpötilaeroja ja niistä aiheutuvia ongelmatilanteita porttilehtien rakenteille.

6.1 Lämmönjohtuminen

Porttilehtien ylävirran puolella oleva veden lämpötila määrittää sen puolen portin lämpötilan ja koteloiden ollessa tyhjiöitä lämpö ei pääse johtumaan alavirran puolelle, sillä tyhjiössä lämmönjohtuvuutta ei ole. Lämmönjohtavuutta tapahtuu myös porttilehtien korkeussuunnalla, sillä 6 m on veden alla ja sen yläpuoleinen alue on alttiina auringonpaisteelle. Tästä huolimatta työmaalla on mitanneet portin yläpään lämmöiksi +60°C.

6.2 Lämpölaajeneminen

Porttilehtien asennuslämpötilaksi on määritetty 0°C. Ympäristön lämpötilan vaihtelu altistaa porttilehdet ja niiden osat lämpölaajenemiselle. Talvella porttilehtien lämpötila laskee huomattavan paljon pakkaselle ja NCCI T 4:n mukaisesti mitoitus on tehtävä -50 °C kuvan 15 mukaisesti. Kesällä kyseinen lämpötila voi nousta 40°C, joten laskussa on käytetty 90 °C lämpötilaeroa.

Liikenneviraston ohjeita 27/2016

11

Eurokoodin soveltamisohje

Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu – NCCI 4 (25.8.2016)

Taulukko 3.1 Terästuotteiden suurimmat sallitut levyepaksuudet käyttölämpötilassa -40 °C (suluisissa arvoissa käyttölämpötilassa -50 °C)

standardi SFS-EN	teräslaatu	puristettu rakenne, 0,25fy	vedetty rakenne 0,5fy	vedetty rakenne, 0,75fy
10025-2	S235J0*	85 (75)	55 (45)	35 (30)
	S235J2*	115 (100)	75 (65)	50 (40)
10025-2	S275J0	80 (70)	50 (40)	30 (25)
	S275J2	110 (95)	70 (55)	45 (35)
10025-2	S355J0*	70 (60)	40 (30)	20 (15)
	S355J2*	95 (80)	55 (45)	35 (25)
	S355K2*	110 (95)	65 (55)	40 (35)
10025-3, -4	S355N/M	110 (95)	65 (55)	40 (35)
	S355NL/ML	150 (130)	95 (80)	60 (50)
	S420N/M	100 (85)	60 (50)	55 (45)
	S420NL/ML	140 (120)	85 (70)	70 (55)
	S460N/M	95 (80)	55 (45)	30 (25)
	S460NL/ML	130 (115)	75 (65)	50 (40)

*) annetut levyepaksuuden arvot pätevät myös vastaaville standardin SFS-EN10025-5 mukaisille ilmatorasituksen kestäville teräksille

Kuva 15. Kuvakaappaus taulukosta 3.1

Kun lämpötilan muutoksien raja-arvot ovat tiedossa pystymme laskemaan suunnitelmien mukaisesti osien lämpölaajenemiset kaavalla:

$$\Delta L = \alpha * \Delta T * L \quad (1)$$

jossa ΔL = *pituuden kokonaismuutos*

α = *lämpölaajenemiskerroin*

L = *pituus*

ΔT = *lämpötilaero*

Kyseinen laskenta on suoritettu Excel-taulukolla vertailen porttilehtien asennuslämpötilaa, joka on 0 °C, minimi- ja maksimilämpötilaan. Kuva 16 on myös laskettu minimin ja maksimin välinen lämpölaajeneminen havainnollistamaan lukijalle lämpötilaerojen merkitystä.

Lämpötilan muutois kokonaisuudessaan

osa	lämpölaajenemiskerroin	ainevahvuus	lämpötilaero	kokonaisuutos	määrä yhteensä	yht.
porttilehti	0,000012 1/°C	8343	90 °C	9,01044 mm	2	18,021 mm
Lean Duplex	0,000016 1/°C	12	90 °C	0,01728 mm	6	0,1037 mm
epoksi	0,0000037 1/°C	25	90 °C	0,00833 mm	2	0,0167 mm
kumilevyllaakeri	0,0002 1/°C	15	90 °C	0,27 mm	3	0,81 mm
						18,951 mm

lämpötilan muutos 0 °C-40 °C

osa	lämpölaajenemiskerroin	ainevahvuus	lämpötilaero	kokonaisuutos	määrä yhteensä	yht.
porttilehti	0,000012 1/°C	8343 mm	40 °C	4,00464 mm	2 kpl	8,0093 mm
Lean Duplex	0,000016 1/°C	12 mm	40 °C	0,00768 mm	6 kpl	0,0461 mm
epoksi	0,0000037 1/°C	25 mm	40 °C	0,0037 mm	2 kpl	0,0074 mm
kumilevyllaakeri	0,0002 1/°C	15 mm	40 °C	0,12 mm	3 kpl	0,36 mm
						8,4228 mm

lämpötilan muutos -50 °C ja 0 °C väli

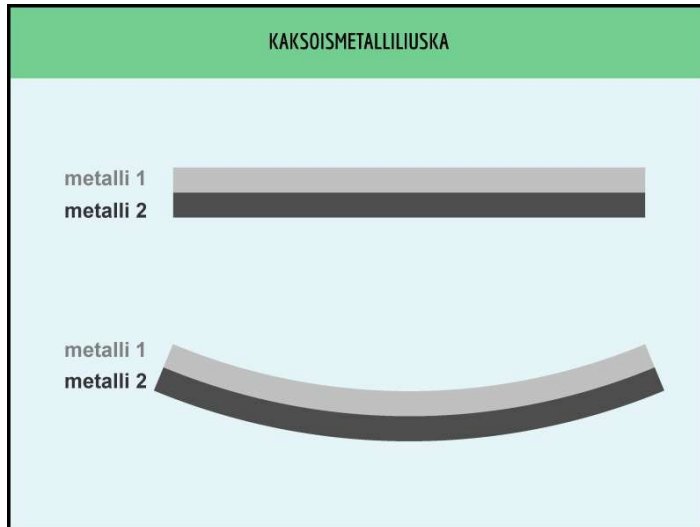
osa	lämpölaajenemiskerroin	ainevahvuus	lämpötilaero	kokonaisuutos	määrä yhteensä	yht.
porttilehti	0,000012 1/°C	8343 mm	50 °C	5,0058 mm	2 kpl	10,012 mm
Lean Duplex	0,000016 1/°C	12 mm	50 °C	0,0096 mm	6 kpl	0,0576 mm
epoksi	0,0000037 1/°C	25 mm	50 °C	0,00463 mm	2 kpl	0,0093 mm
kumilevyllaakeri	0,0002 1/°C	15 mm	50 °C	0,15 mm	3 kpl	0,45 mm
						10,528 mm

Kuva 16. Lämpötilan muutokset verrattuna asennuslämpötilaan ja yhdistettynä

Taulukon laskennan mukaisesti porttilehdet kutistuvat 10,5 mm lämpötilan ollessa -50 °C. Suurin lämpötilan vertailu arvo on 40 °C, tällöin porttilehdet laajenevat 8,5 mm. Lämpötilan nousun seurauksena porttilehdille aiheuttaa lämpöjännityksiä sekä ulkopiellissä kaksoismetalliliuskautumista. Porttilehden kokonaisvaihtelevuus lämpötilan takia ollessa 19 mm aiheuttaa suuren ongelman tilaajan vaatimiin toleransseihin.

Tämän lisäksi alavirran puolelta naamakuvasta katsottuna porttilehden keskiniveleen ruostumattomat teräkset, epoksivalu ja itse porttilehti käyttäytyvät lämmetessään eri tavalla niiden lämmönlaajenemiskertoimien vuoksi. Tämän seurauksena porttilehden valmis rakenne altistuu kaksoismetalliliuskautumiselle. (peda.net.)

Kyseinen reaktio tapahtuu juuri ulkopieliissä pielilevyn ollessa kiinni vastinlevyssä. Kuva 17 on havainne kuva ulkopielen rakenteelle, missä aluslevy on metalli 2 ja pielilevy on metalli 1. Näiden osien välinen taipuminen on kuitenkin hyvin pientä, joten sitä ei lasketa tässä työssä.



Kuva 17. Kaksoismetalliliuskan lämpölaajenemisen periaatekuva

6.3 Lämpöjännitys

Kun porttilehtien lämpölaajeneminen on estetty ylävirran puolelta veden toimesta ja sivuilta sulkurakenteiden takia. Tämän seurauksena porttilehtiin syntyy puristusta lämpöjännityksen tuottamana, porttilehdistä sulun reunoihin päin. Kun sulutuksen aikana myös y-akselin suuntaisesti ylävirranpuoleinen lämpölaajeneminen on estetty porttilehdille, jää mahdollisuudeksi vain laajentua alavirran puolelle. Tämän aiheuttama jännitys esiintyy rakenteisiin lisäpuristuksena. Kyseinen jännitys lasketaan kaavalla (2).

$$\sigma = -\alpha E \Delta T \quad (2)$$

Jossa $\sigma =$ jännitys

$\alpha =$ lämpötilakerroin

$E =$ materiaalin kimmokerroin

$\Delta T =$ lämpötilan muutos

Tämän seurauksena saamme porttilehdelle jännityksen laskettua, joka on

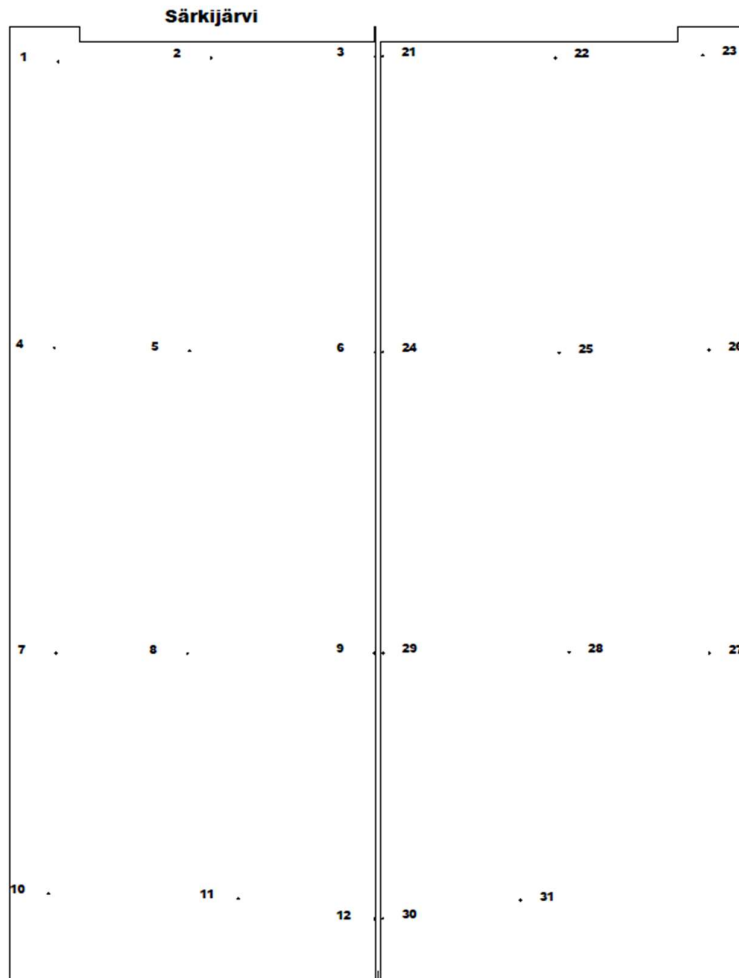
$$\sigma = -12 * 10^{-6} 1/^{\circ}C * \frac{210000N}{mm} * 100^{\circ}C$$

$$\sigma = -252MPa$$

Negatiivinen jännitys on puristusta, joten porttilehtien lämpölaajenemisesta seuraa lämpöjännitystä porttilehdille itä-länsi suunnassa 252 MPa puristusvoima. Kun puristus tapahtuu itä-länsi suunnassa ja ylävirranpuoli on myös estetty seuraa porttilehden käyristyminen alavirran puolelle, puristus tapahtuu porttien pie-
lien kautta. Tästä seuraa porttilehtien pielirakenteisiin kohdistuva suurempi puristus kuin asennusaikainen puristus. Tämän vuoksi alus- ja vastinlevyjen koneistus on tärkeää, sillä lisäpuristus pieleen avaa veden meneviä aukkoja. Kuten yllä esitettyissä taulukoissa todetaan, niin porttilehtien asema muuttuu sen lämmitessä.

6.4 Lämpötilaseuranta

Työmaalla urakan aikana alettiin seurata porttilehtien lämpölaajenemista jo asennusvaiheessa. Tämän vuoksi porttilehtiin laitettiin seurantatarrat. Alla olevassa 18 kuvassa näkyy niiden paikat ja numerot. Tämän seurauksena saimme tietoa porttilehtien liikkeestä eri työvaiheiden aikana, kun ne olivat tuettuna ja tukien pois ottamisen jälkeen sekä käyttöönoton jälkeisiä liikkeitä.

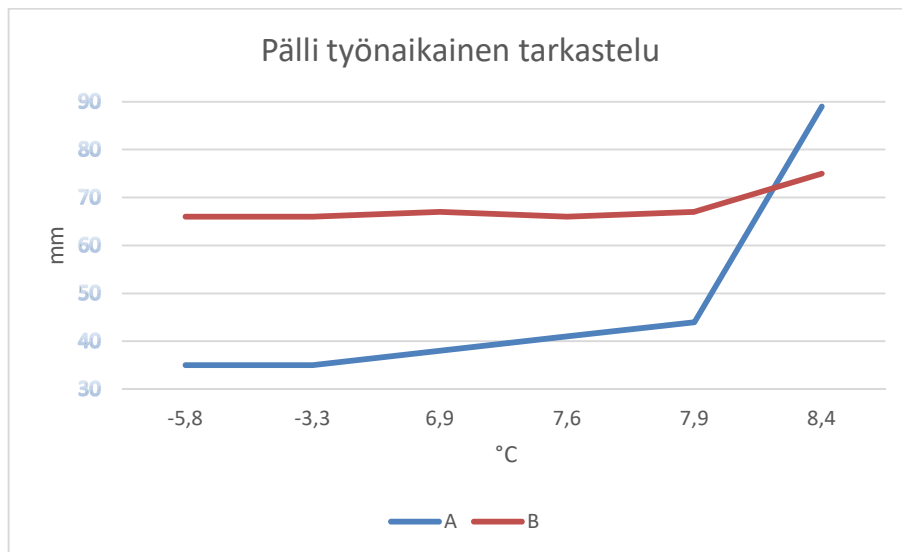


Kuva 18. Särkijärven seurantatarrojen sijainnit

6.5 Työnaikaisen lämpötilan huomioita

Työnaikana porttilehti oli huputettu, jotta se pysyy sulana ja rakennetelineet rakennettu molemmin puolin porttilehteä, joten tällöin otettua tietoa ei huomioitu. Kun telineet ja sääsuoja oli poistettu porttilehdistä saamamme tietoa, näkyy alapuolella. Lämpötilan 7,9 °C kohdalla porttilehtien tuenta irrotettiin. Kuvaajasta suuresta muutoksesta näkee, kuinka porttilehti lähtee liikkeelle jo kiinni olevassa pielessä. Tätä ennen kaula- ja jalkalaakerin tapit ovat asemoitu pysty- ja vaakasemassa sekä oikeassa korkeusasemassa. Kuten kuvaajasta näkee, miten porttilehti lähtee liikkeelle, sillä yksi porttilehti painaa 60 000 kg. Tämä koko raskaus kohdistuu vetona porttilehden yläpäässä sijaitsevaan kaulalaakerin tappiin, koska portin alapää painuu tiukasti kiinni pielen vastinlevyihin ja keskinivelessä

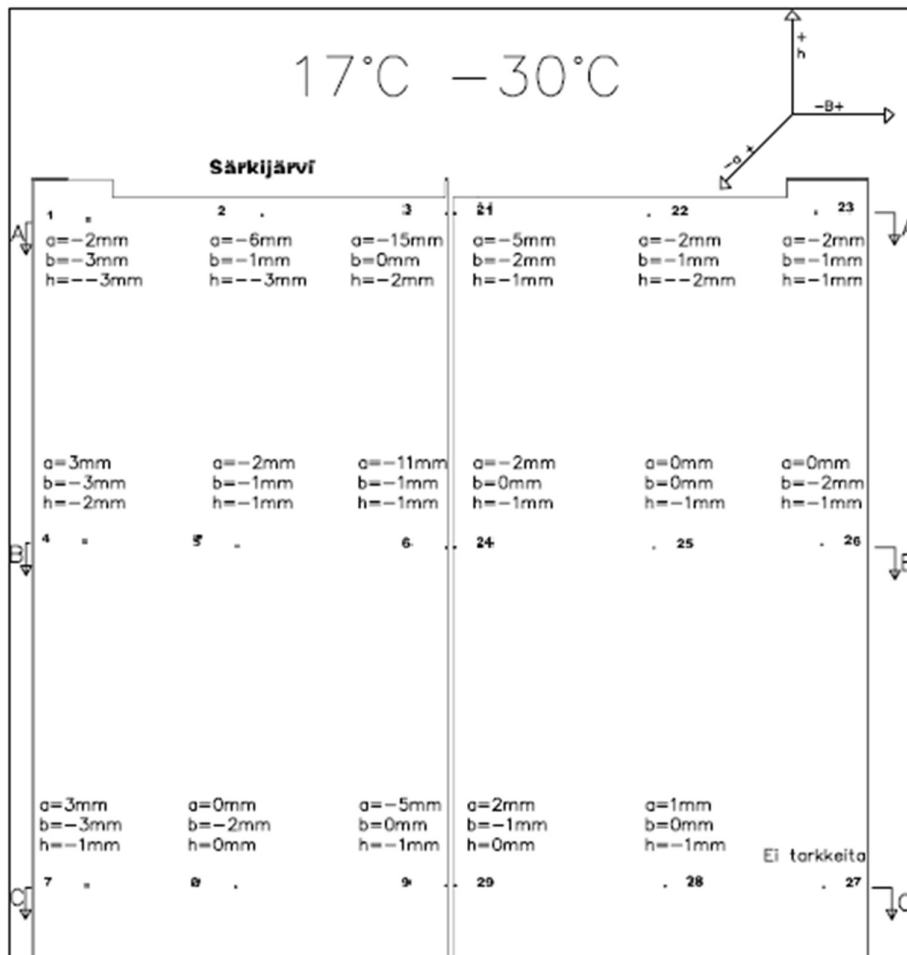
ne aukeavat alhaalta. Kuvasta 19 näkee syvyysuuntaisen porttilehden muutos A.



Kuva 19. Työnaikainen porttilehtien liike

6.6 Käyttöönoton jälkeisiä huomioita

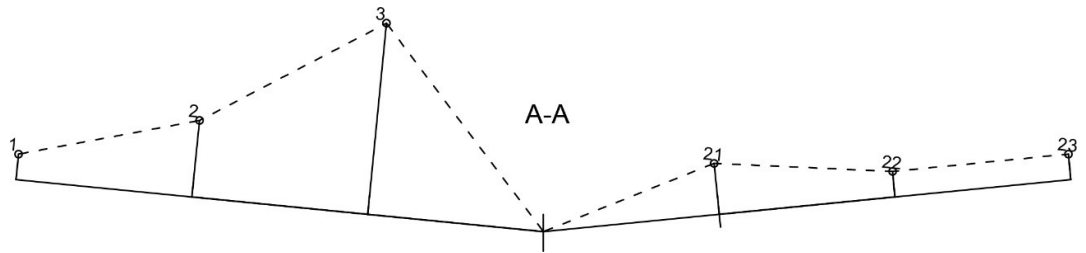
Urakan jälkeen porttilehtien toimintaa on myös tutkittu helteillä. Kuvassa 20 Särkijärven porttilehtien naamakuvassa on merkitty tarkkailupisteet, koordinaatisto ja niiden sijainnin muutos, kun lämpötila nousee +17 °C — +30°C.



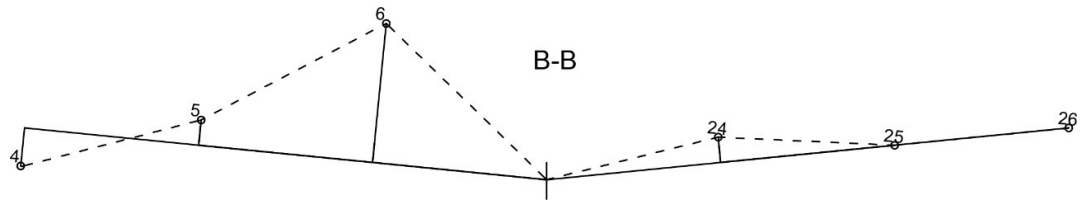
Kuva 20. Porttilehtien seurantapisteissä havaitut lämpötilamuutokset

Kuten kuvasta 20 näkee tarkastelupisteiden liikkeet ovat suuria syvyys suunnassa a. Tämä on selitettävissä porttilehtien tilavuuden lämpölaajenemisella, koska itä-länsi suuntainen pituuden lämpölaajeneminen on estetty (sulun betonirakenteet) ja ylävirran puolella (vesipatsas). Ainoa suunta on siis alavirran puoli, johon lämpölaajeneminen tapahtuu. Seurauksena tästä myös b- (itä-länsi) suunta liikkuu, koska porttilehden lämpölaajeneminen muuttaa sen muotoa. Lämpötilat +17 °C on mitattu 15.6.2019 ja +30 °C on mitattu 8.6.2019.

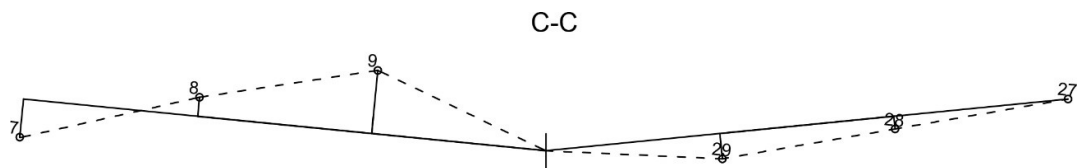
Porttilehtien liikkeet ovat kuitenkin todella pieniä ja silmämääräisesti niitä ei havaitse. Kuitenkin porttilehdissä tapahtuu suuriakin liikkeitä siihen nähden, että lämpötilaero on vain 13°C. Kuvan 20 leikkaukset on esitetty kuvissa 21, 22 ja 23. Leikkauskuvat eivät ole mittakaavassa, koska ne on tehty havainnollistamaan porttilehtien liikkeitä, jotka vaikuttavat tiiveyteen.



Kuva 21. Leikkaus A-A kuvasta 20.



Kuva 22. Leikkaus B-B kuvasta 20.



Kuva 23. Leikkaus C-C kuvasta 20.

Kuten leikkauskuvista voimme todeta porttilehden yläpään lämpölaajenevan alavirtaan päin on enemmän kuin juuri vedenpinnassa oleva C-C kohta. Noin puolessa välissä vedenpinnan ja porttilehden yläosaa B-B leikkauksessa porttilehdet ovat supistuneet takaisin ylävirtaanpäin ja C-C leikkauksessa oikeanpuolisen porttilehden keskinivel on jo alavirtaan puolella. Porttilehdet käyristyvät Särkijärvellä vasemmasta lehdestä oikealle päin. Tähän vaikuttaa aurinko oleellisesti, sillä se nousee idästä lämmittäen ensimmäiset tunnit vain vasemmanpuolista porttilehteä. Kuvassa 24 on ilmakeku Särkijärven sululta.



Kuva 24. Särkijärven sulku (Google Maps 2020)

6.7 Lämpölaajeneminen keskinivelessä

Koko urakan aikana otettiin keskiniveleen molemmin puolin mittatarkkeita porttilehden lämpölaajenemisesta. Tämä tehtiin, kun porttilehti oli asennettu paikallaan ja sulku oli vielä tyhjänä. Tarkkeista pääsee havainnoimaan porttilehden lämpölaajenemisen työnaikaisesti sekä sulutuksen aikana. Vedenpaineen vaikuttava voima estää myös sulun suuntaisen porttilehden lämpölaajenemisen sulun ylävirran puolelle, joten sulutuksen aikainen lämpölaajeneminen tapahtuu vielä suuremmin alavirran puolelle. Lämpötila ylävirran puolella on lähes veden lämpötila ja alavirran puolella aurinko lämmittää porttilehden pinnan, jopa 70 °C lämpötilaan.

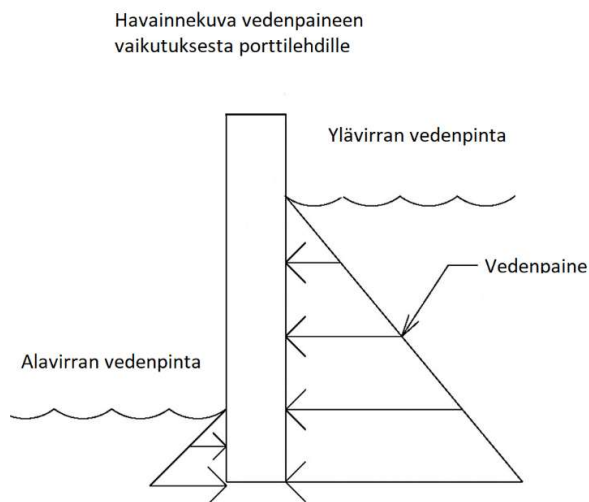
Tämän seurauksena lämpötilan vaihtelu ja toleranssien vaihtelevuus yhdistettynä tuottavat suuriakin rakoja keskiniveleen. Tähän anteeksiantavana tekijänä otetaan huomioon vesipaine, joka painaa porttilehtiä suurella paineella tiiviimmäksi. Kun tullaan 1/3 porttilehden korkeudesta veden aiheuttama paine on enää 0,5 bar, joka ei riitä enää kompensoimaan lämpölaajenemista ja toleranssien suurimpia heittoja.

7 Vedenpaineen vaikutus

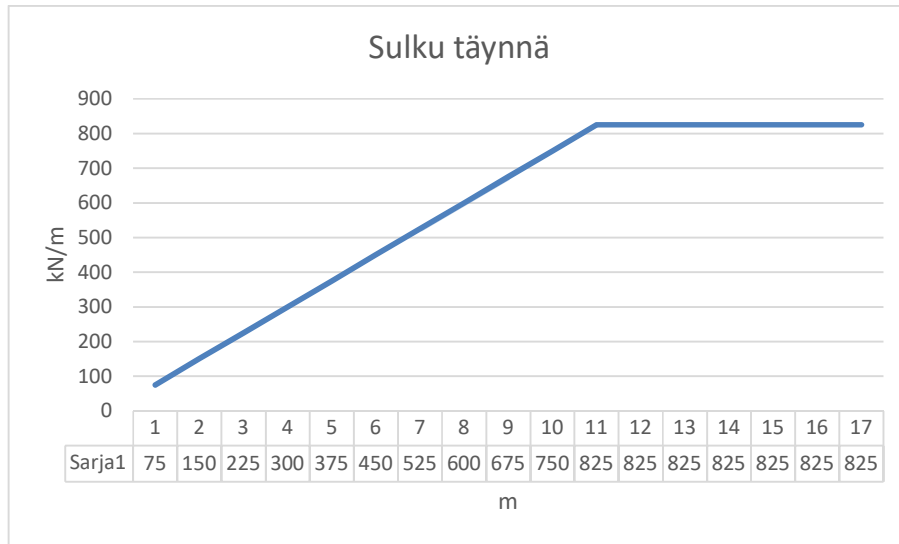
Vedenpaine on rakennussuunnitelmaselostuksen mukaan painava voima, jolloin kääntösyntereitä ei käytetä porttien kiinnilaitossa, vaan ne ajetaan lähes kiinni ja vedenpaineen tarkoitus on painaa keskinivel yhteen. Jos porttilehdet ajettaisiin kiinni asti ja lukittaisiin paikalleen, se olisi keskitetty paremmin. Kumilevylaakeri saattaa jäädä tässä tilanteessa vain puolelta pinnalta käytetyksi, eikä sen tarkoituksen mukaisesti ota koko pinta-alalta kosketusta. Tämän seurauksena laakeriin kohdistuva voima on vielä suurempi.

7.1 Vedenpaineen voima porttilehdille

Sulussa vallitsee vaihteleva vedenpaine riippuen sulutuksesta. Kun sulussa on ylävirran vedenpinnan taso porttilehtiin, kohdistuu suuria voimia. Havainnekuva ja vedenpaineen aiheuttavat voimat on esitetty kuvissa 25 ja 26.



Kuva 25. Havainnekuva sulussa vallitsevasta tilanteesta

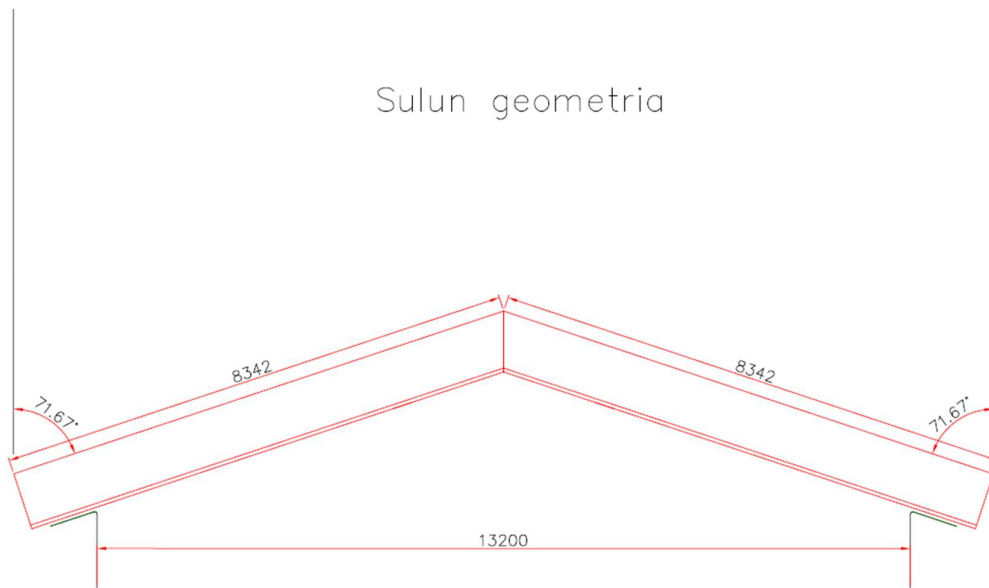


Kuva 26. Hydrostaattisen paineen voima porttilehteä kohti juokseva luku on porttilehden ylhäältä alaspäin

Vedenpaine ei rasita porttilehtiä silloin, kun sulussa vedenpinta on alavirran kanssa sama, koska hydrostaattinen paine on porttilehdille täysin sama. Kun sulku on täynnä, se rasittaa porttilehteä ja tukirakenteita dynaamisesti todella suurilla voimilla kuten pystymme havaitsemaan yläpuolisesta taulukosta. (Levinson 2018.)

7.2 Porttilehden geometrian vaikutus vedenpaineelle

Salpaporitit voidaan mieltää kolmiulotteisina laattoina, joilla on tietty pituus, korkeus ja paksuus veden pitämiseen. Seuraavaksi olen yksinkertaistanut kuva 27 mukaisesti yleispiirrustuksen havainnoimaan porttilehtien geometriaa. (Levinson 2018)

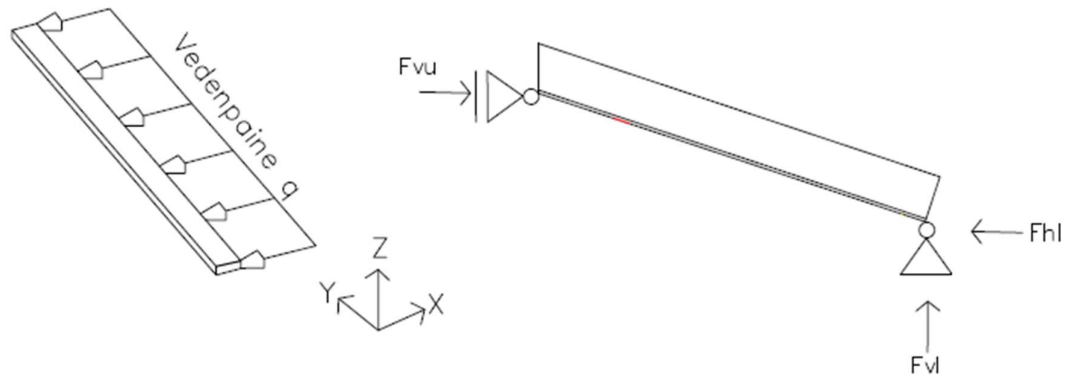


Kuva 27. Porttilehtien geometria sulussa (mittayksiöt millimetreinä)

Tarkastellessamme porttilehtien geometriaa kuvasta pystymme määrittämään yksinkertaistetun mallin, josta pystymme laskemaan normaali- ja leikkausvoimat porttilehdelle. Palkin sisäisten voimien selvittämiseksi on ensin määritettävä tukireaktiot. Tämä voidaan tehdä laskemalla summat taivutusmomenteista saranoiden ympärillä ja soveltamalla statiikan tasapaino oppia. Suurin osa kuormista määritetty kN/m oven pituutta kohden, mikä tarkoittaa porttilehden leveyden olevan hallitseva muuttuja siihen vaikuttaviin kuormiin. Porttilehtien leveys määräytyi jo 1960-luvulla, kun päätettiin laivojen suurimmat mitat, joka kulkevat kanavassa. Porttilehtien optimaalinen käänkökulma määritetään siten, että ovien kuorman siirto ja materiaalin käyttö on optimoitu. Kuitenkin kuormien siirto tapahtuu porttilehtien pysty- sekä vaakajäykistyksien kautta, siten että pystyjäykistys tuo kuormat vaakajäykistyksille, josta sen on tarkoitus viedä rasitukset jalkalaakerille pystysuunnassa. Tutkimustyön pohjalta sulun ja porttilehden välinen optimaalinen kulma on 18,4 astetta, koska tällöin tarvitaan vähiten materiaalia.

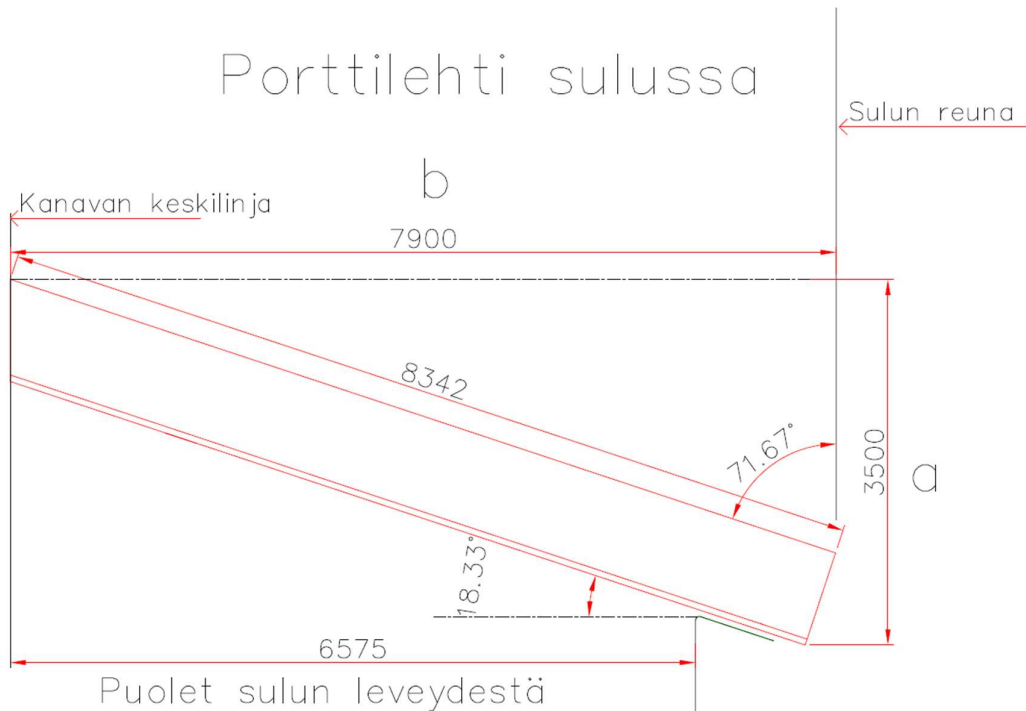
Mallin yksinkertaistamiseksi olen jakanut porttilehden palkeiksi porttilehden leveyden suuntaisesti. Vedenpaineen vaikutus riippuu sen korkeudesta, joten sitä ei ole kuvaan määritetty. Palkille asetetaan samat liikkumisehdot kuin porttilehdellä on sulussa eli kierto Z-akselin ympäri on sallittu siinä määrin, kun keskinivel

sallii siirtymisen X-akselin suunnassa. Kuvassa 28 vasemmalla puolella on kyseinen palkki ja koordinaattisuunnat havainnollistamaan kyseistä tilannetta, jotta laskeminen on mahdollista. Yksinkertaistamisessa on tärkeä huomata, että pystyjäykistykset tukevat laakeria, jotta se ei nurjahda. Tämän seurauksena yksittäinen palkki on mallinnettu yhtenäisellä tuella koko korkeudeltaan kuten kuvan 28 oikealla puolella on. (Levinson 2018)



Kuva 28. Palkin yksinkertaistus kuva ei mittakaavassa.

Jotta porttilehden tukireaktioita pystytään määrittämään, tarvitsemme A ja B mitat. Kuvassa 29 mitat on otettu porttilehtien yleispiirrustuksesta.



Kuva 29. Puolikkaan porttilehden mitat

Kun mitat ovat tiedossa, ratkaistaan tukireaktiot yksinkertaistetulle mallille. Vedenpaineen mitoituksessa ei käytetä edellisen luvun vedenpainetta, koska mallin yksinkertaistamisen vuoksi tarkastelussa on metrin korkuinen kaistale, eikä koko porttilehdelle tulevaa voimaa. Vedenpaine q on laskettu alla olevilla arvoilla liitteen 6 mukaisesti.

$$q = \frac{60 \text{ kN}}{\text{m}} \text{ kun } h = 6 \text{ m}, a = 3,5 \text{ m}, b = 7,9 \text{ m}$$

Tukireaktiot lasketaan alla olevien kaavojen mukaisesti:

$$F_{vu} = \frac{\frac{1}{2} * \sqrt{8,3^2 + a^2} * q}{a} = 695,5 \text{ kN} \quad (3)$$

$$F_{vl} = F_{vu} - a * q = 485 \text{ kN} \quad (4)$$

$$F_{hl} = 10 * q = 600 \text{ kN} \quad (5)$$

Leikkausvoima lasketaan seuraavasti:

$$V = F_{hl} - q * b = 126 \text{ kN} \quad (6)$$

Normaalivoima lasketaan seuraavasti:

$$N = Fvl - q * a = 265kN \quad (7)$$

Jotta keskinivel pysyy paikallaan, on seuraavan ehdon toteuduttava

$$N\mu > V \quad (8)$$

$$265kN * 0,63 > 126kN$$

Kitkavoima on riittävä

$$176kN > 126kN \quad OK$$

Tämän laskentamallin mukaan keskinivelen kitka riittää pitämään porttilehdet kiinni. Laskentaan on käytetty kriittisintä pistettä, joka sijaitsee noin 1/3 porttilehden korkeudesta (noin 6 m ylhäältä alaspäin mitattuna). Kuitenkin porttilehtien kiinni ajamisessa olisi todella tärkeää ajaa ne loppuun asti eikä vain jättää vedenpaineen työnnettäväksi. Raot tiivistyvät, kun normaalivoiman on osoitettu ulospäin. Tämän seurauksena reaktivoimien on aina oltava positiivisia. Porttilehtien geometrian pohjalta kitkakerroin riittää hyvin pitämään porttilehdet kiinni, kun a/b suhde pysyy alle 0,5. (Levinson 2018)

8 Vaihtoehtoinen toteutustapa

Opinnäytetyössä tutkittuihin tiiveyteen liittyviin asioihin pystytään vaikuttamaan jo suunnitteluvaiheessa sekä asennustavan muutoksilla että rakenteen osien muutoksilla. Seuraavaksi esitellään vaihtoehtoiset toteutustavat porttilehtien tiiveyteen vaikuttavista tekijöistä.

8.1 Lämpötilan tasaaminen

Porttilehtien lämpölaajeneminen tuottaa ongelman ja liian suuria voimia lämpöjännityksen vuoksi portin ulkopuolisille piilirakenteille, joiden vaikutusta ei opinnäytetyön rajauksen vuoksi ole laskettu tässä työssä. Kuten tarkemittauksista havaitaan, porttilehdet laajenevat lämpölaajeneman seurauksena alavirran

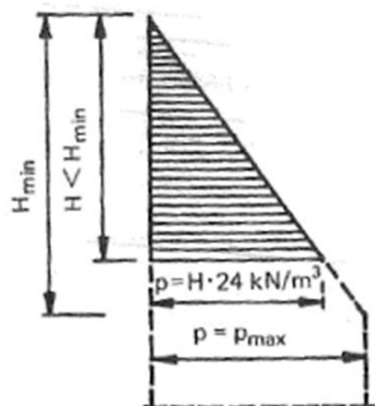
suuntaan. Tämä voidaan estää lämpötilaerojen tasaamisella. Lämpötilojen tasaa-
minen onnistuu esimerkiksi sisäisesti tai ulkoisesti. Kun lämpötilat laskevat lä-
hemmäs asennuksen aikaista 0°C lämpötilaa, porttilehdet eivät vuoda.

Rakennussuunnitelmaselostuksen mukaisesti rakenteiden tulee toimia lämpöti-
lan vaihtelusta huolimatta. Keskilämpötilan vaihtelun seurauksena rakenneosien
pituudet muuttuvat, koska rakenne ei estä muodonmuutoksien syntymistä. Läm-
pötilojenmuutokset aiheuttavat rakenteen laajenemista ja kutistumista. Virhemar-
ginaali ei näydy, kun asennuslämpötilan mukainen lämpötila vallitsee. Läm-
pötilan noustessa suunnitellut osat, rakenteet ja asennustapa eivät enää tue nii-
den alkuperäistä tavoitetta ja ongelmia alkaa ilmestyä. SFS-EN 1991-1-5 mukaan
rakenteiden mitoituksessa tulee huomioida lämpötilojen vaihtelun vaikutukset.
Kuormitus ei saa oleellisesti muuttaa rakenteen geometriaa (SFS-EN 1991-1-5
Lämpötilakuormat).

Porttilehtien tyhjiöiden täyttö glykolilla tasaisi porttilehtien lämpötilan vaihtelun.
Glykoli pitäisi porttilehtien molemmat pinnat saman lämpöisinä kuin itse glykoli.
Tämä poistaisi porttilehtien lämpölaajenemisen ja estäisi ympäristön muutoksista
aiheuttavat turhat liikkeet.

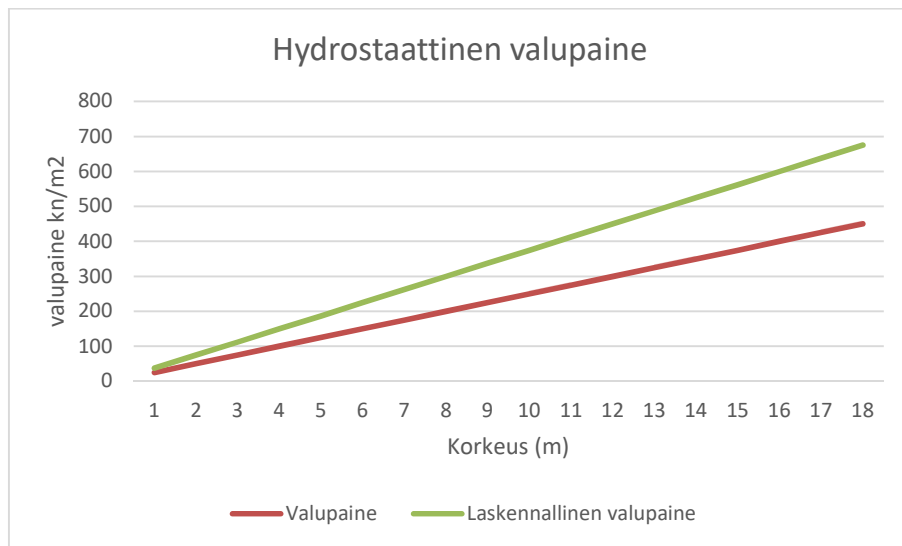
8.2 Jälkivalut

Pielen ja keskinivelen valussa rakennussuunnitelmaselostuksen mukaisesti hyd-
rostaattinen valupaine tiivistää pielen rakenteen. Seuraavaksi kuvassa 30 lasken-
nallinen hydrostaattisen valupaineen muodostuminen BY 201:n mukaisesti.



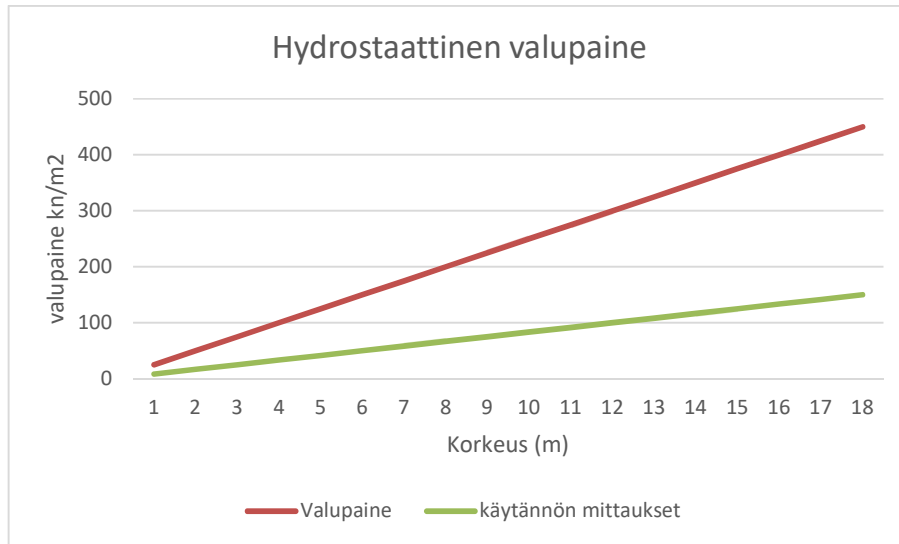
Kuva 30. Hydrostaattisen valupaineen mitoitus (Suomen Betoniyhdistys Ry, 2018)

By 201 mukaan mitoituksessa käytetään varmuuskertoimena 1,5 valupaineelle. Pielien ja keskinivel valun hydrostaattisten paineiden havainnollistaminen on kuvassa 31. (Suomen Betoniyhdistys Ry, 2018)



Kuva 31. Valupaine ja laskennallinen valupaine

IT-betonin valupaineesta on tehty monia tutkimuksia liittyen muotin mitoittamiseen hydrostaattiselle valupaineelle. IT-betonin käyttö paikallavaluissa on ollut lähivuosina vielä vähäistä. Syitä tähän on uskomukset, hinta ja norminmukainen IT-betonin aiheuttama muottipaine. Tutkimukset osoittavat, ettei valupaine ole yhtä suuri kuin standardiin mukaisesti laskettu valupaine. Tutkimuksien tuloksiin perustuen valupaine jää noin kolmas osaan mitoitusarvosta. Kyseiset tutkimukset on tehty pystyrakenteille korkeuden vaihdellen 3–6 m matkalla. Tämän seurauksena standardipohjainen mitoitus on hyvä suuntaa antava arvo, mutta ei paikkaansa pitävä. Seuraavassa kuvassa 32 käytetty tutkimuksien pohjalta kolmas osaa valupaineesta (Simola 2018, 70).



Kuva 32. Valupaineen arviointi

Kumilevylaakeri aluslevyineen on puristettu ruuveilla porttilehden pielilevyyn (40mm) kiinni. Tämän seurauksena ruuveilla puristettu rakenne ei pääse liikkumaan valua kohti, vaan valu liikkuu porttilehteä kohti puristaen. Ruuvien puristus on siis saman suuntainen kuin valupaineen eli valupaine ei purista koko rakennetta vain ainoastaan vastinlevyn kumilevylaakeriin päin. Kumilevylaakeri ja aluslevy on puristettu portin pielirautaan kiinni käyttäen M16-ruuveja kuvanmukaisella tavalla eli ruuvien kanta jää aluslevyä vasten ja kiristää kuvan vasemmalta puolelta valuuun jäävään sisäholkkiin. Ruuvi on niin vahva, että valupaine ei riko ruuvia, joten tiivistävän vaikutuksen estäjänä on puristukseen jätetty ruuvien kanta. Kuva 33 on työmaalta havainnekuva kyseistä ongelmasta. Työmaalta otettu kuva 33 opinnäytetyötä varten, jossa näkyy muttereiden sijainnit. Kuva ei ole lopullinen tilanne ennen valua, sillä laakerilevyn ja porttilehden välissä oleva mutteri pitäisi olla löysällä.



Kuva 33. Havainnekuva pielistä ennen valua

Ruuvit ovat 250 mm jaolla ilman esiasetusta valupaineen mukaan. Tämän seurauksena valupaineen tiivistysvaikutus on ylhäältä todella heikkoa ja mitä alemmas mennään niin sitä suurempaa. Kuvista 31 ja 32 nähdään, että valupaine saattaa olla liian suuri.

Tähän korjauksena M16 ruuvien esiasetus tasoittaisi valupaineen vaikutusta tasaisemmaksi koko porttilehdelle, eikä menisi hydrostaattisen valupaineen kuvion mukaan. Tämän vaikutus porttilehden tiiveydelle on vaikea arvioida. Jos alhaalla valupaine on 150 kN/m^2 ja ylhäällä alle 30 kN/m^2 , niin pielirakenne ei tiivisty tasaisessa suhteessa. M16 esiasetusten avulla pieliin saataisiin tasaisempi valupaine, joka edesauttaa porttilehtien tiiveyttä.

Keskinivelessä tilanne on eri, sillä epoksivalu suoritettiin MasterFlow 648–nimikkeen kolmikomponenttiepoksilla. Tuotteen toimittajan ohjeistuksen mukaan

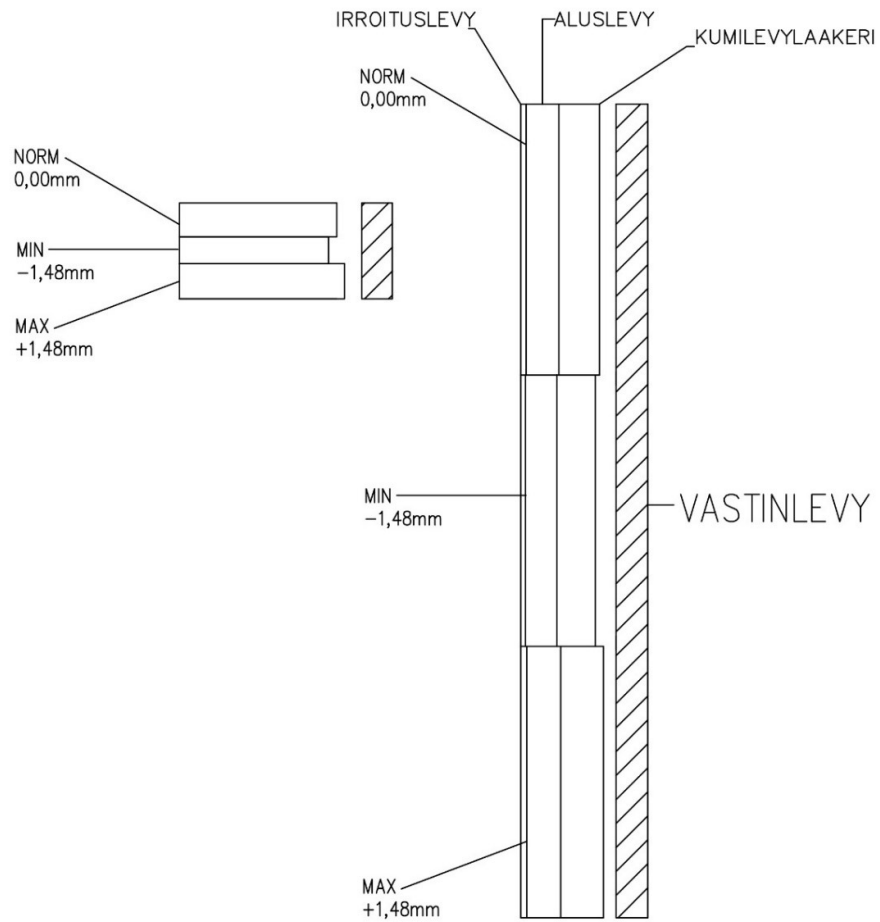
massa tulee kaataa tasaisesti muottiin, jolloin massa pitää yllä hydrostaattista painetta vähintään 15 cm matkalta. Keskinivelen paine-erot eivät pääse kasvaamaan liian suuriksi verrattuna pieliin.

8.3 Osat

Osien toleranssit ovat todella pieniä porttilehtien mitoissa, mutta sitäkin tärkeämpiä, sillä vedenpaineen voimakkuus on todella suuri ja pienikin rako rakenteissa aiheuttaa vuodon. Vuoto näyttää suurelta juuri suuren paineen vuoksi vaikka puhuttaisiin yhden millimetrin raosta. Raoilla ei kuitenkaan ole rakenteen toimivuuden kannalta.

Jälkivalujen tarkoitus on hydrostaattisella paineella painaa keskinivel ja pielet tiiviiksi paketuksi. Lean duplex–aluslevyt vulkanoidaan kiinni kumilevy-laakereihin ja näistä tehdään metrin mittaisia osia, jotka kiinnitetään porttilehtien alavirran puolelta katsottaen vasemmalle puolelle, kun taas vastinlevyt ovat neljän metrin mittaisia, joka kiinnitetään alavirran puolelta katsottaen oikeanpuoleiseen pielilevyyn. Kuva 34 on havainnekuva kyseiseen tilanteeseen. Metrin mittaisella osalla voi toleranssien vuoksi olla 1,48 mm liian pieni, kun taas seuraava osa voi olla 1,48 mm liian suuri. Huonoimmassa tilanteessa nämä laakerielementit ovat peräkkäin, jolloin 2,96 mm rako jää kuvan 34 mukaisesti.

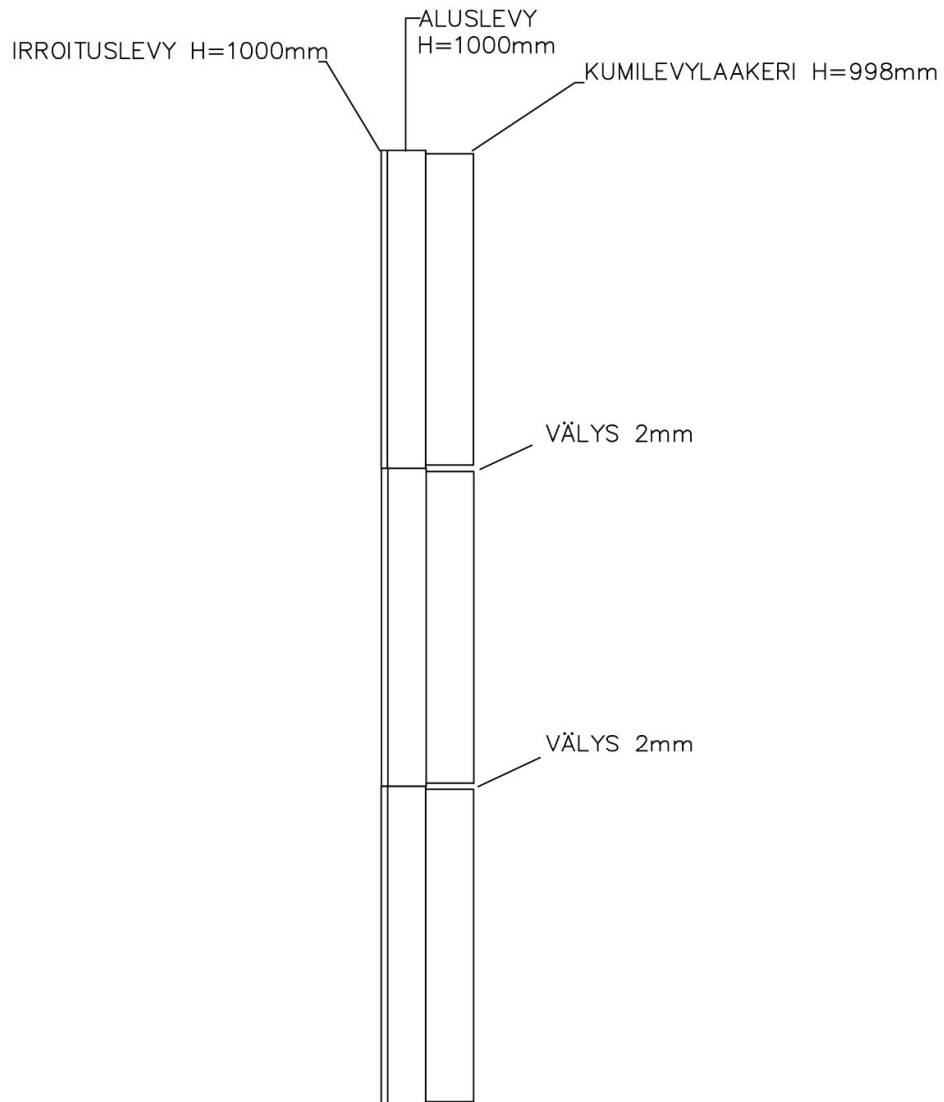
KOKONAISAINEVÄHVVUUS, TOLERANSSIERO



Kuva 34. Sivusuuntainen toleranssien vaikutuksen tarkastelu

Kuten toleranssikappaleen taulukoista nähdään, kun osia ei ole koneistettu, vaihteluvälit voivat olla todella suuria tilaajan antamaan toleranssiin verrattuna sekä myös osien tasomaisuudessa saattaa olla vaihteluvälejä. Teräsosien koneistus ei ainoastaan auta porttilehtien tiiviiksi saamiseen.

Pielirakenteiden 1000 mm mittaiset laakerielementteihin on vulkanoitu 998 mm mittaiset kumilevylaakerit ja tämä 2 mm väli tulisi rakennussuunnitelmaselostuksen mukaan kitata. Tilanne on esitetty kuvassa 36. Ongelmana on kitti, joka kestää yli yhden baarin paineen. (Rakennussuunnitelmaselostus)

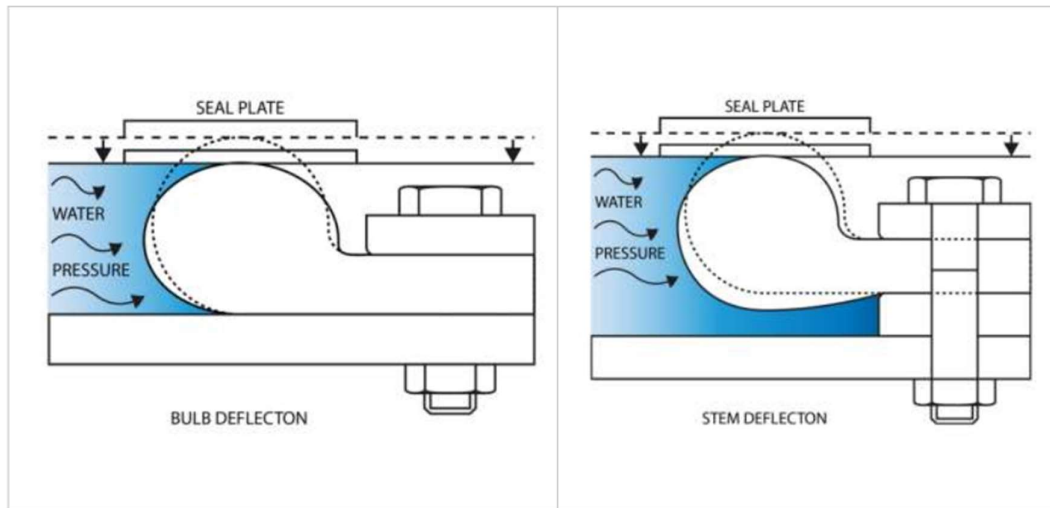


Kuva 36. Laakerielementin ongelman periaatekuva

8.4 Tiivisteiden valinta

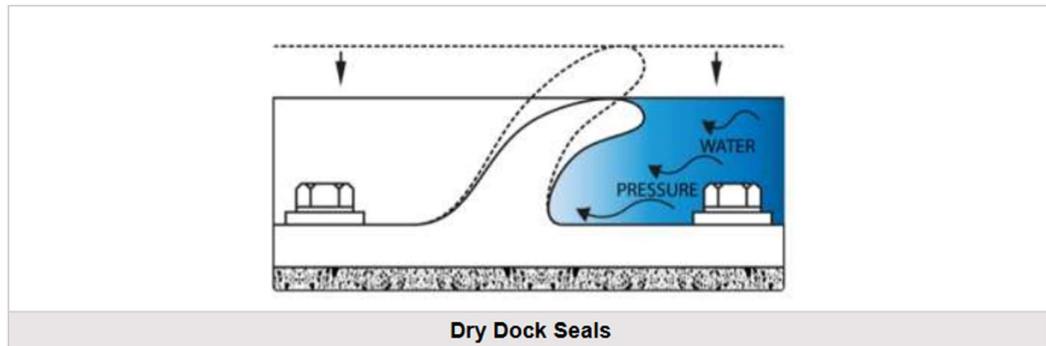
Tasomaiset kumilevylaakerit ovat yleisesti käytettyjä pohjan tiivisteinä, eikä vesistö rakentamiseen tarkoitettujen kumien toimittaja The Rubber Company edes suosittele sitä käytettäväksi muuhun kuin pohjatiivisteeksi (Gate sealing solutions 2016).

Porttilehtien tiivisteinä toimisi esimerkiksi P-tiiviste, joka on tarkoitettu sivutiivisteinä. P-tiivisteitä saa keskiaukollisina sekä umpinaisina. Keskiaukollinen tiiviste on tarkoitettu pienille hydrostaattisille voimille. P-tiiviste on suunniteltu siten, että vedenpaineen painaessa tiivistettä se tiukentuu lujempaan vastinlevyä vasten tiivistäen pielen kuten kuvasta 37 voidaan todeta. P-tiiviste voidaan nykyisen kumilevylaakerin tavoin vulkanoida aluslevyyn kiinni. (Gate sealing solutions, 2016)



Kuva 37. P-tiivisteiden toiminta. (Gate sealing solutions 2016)

Telakointitiivisteet ovat tyypillisesti huuliprofiileja, jotka on esitetty kuvassa 38. Nämä ovat tavanomaisesti myös vulkanoitu aluslevyihin. Vedenpaine painaa tiivisteiden tiukasta teräslevyjen väliin. Nämä tiivisteet ovat tarkoitettu vastaanottamaan porttilehtien suuret liikkeet verrattuna alkuperäiseen asemaan. (Gate sealing solutions, 2016)



Kuva 38. Huuliprofiilin periaatekuva (Gate sealing solutions 2016.)

Tiivisteiden vaihtaminen auttaisi myös porttilehtien jäätyessä ja kutistuessa, sillä tasomainen kumilevylaakeri ei pysty toimimaan halutulla tavalla porttilehtien kutistuessaan. Edellä mainittujen tiivisteiden vaihtoehdot toimivat vaikka porttilehti kutistuisi tai laajentuisi.

8.5 Lämpölaajeneminen ja toleranssit

Osien toleranssien ja lämpölaajeneman aiheuttaman rakenteen kutistuessa 10,5 mm + 5,82 mm liian suureksi ja huonoimmassa tapauksessa aiheuttaa porttilehtien tukirakenteille kuormia, joita ei olla huomioitu laskennassa. Sama tilanne on myös maksimitoleranssien ja lämpölaajeneman aiheuttavassa tilanteessa, jolloin lämpöjännitys kasvaa todella suureksi, joka aiheuttaa myös porttilehtien tukirakenteille ylimääräisiä kuormia.

Lämpötilojen suuri vaihtelu on suomen ilmaston ominaispiirre ja tämän seurauksena porttilehtiä väsyttää dynaamiset kuormat, jotka ovat erittäin haitallisia mm. hitsausliitokselle, joita teräsrakenteissa käytetään. Porttilehtien tiiveyden vuoksi on elintärkeää pystyä hallitsemaan lämmön aiheuttamia kuormia.

8.6 Porttilehden värin valinta

Porttilehtien värien valinta tasaisi myös porttilehtien lämpötilaeroja. Absorptiossa energiaa kuljettavat valohiukkaset, jotka ovat tässä tapauksessa auringon säteilystä aiheutuvia fotoneita, osuessaan ne tuhoutuvat ja luovuttavat energiansa

porttilehden teräksen atomeille. Tämän seurauksena atomit virittyvät korkeampaan energiatilaan, jolloin ne saavat kiinteän aineen värähtelemään. Lämpötila nousee sitä mukaa kuin värähtely voimistuu. (TEPA-termipankki)

Suhteellinen absorptiokyky määräytyy materiaalin pinnan värin mukaan eli tummilla pinnoilla on suurempi kyky sitoa itseensä lämpöä kuin vaalealla pinnalla. SFS-EN 1991-1, joka on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi rakenteiden kuormille, jossa osa viisi käsittelee lämpötilakuormia ja kuvassa 39 on lainaus standardista, joka käsittelee pinnan värin vaikutusta absorptiokykyyn. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2004, 28)

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (pöytäkirja: IP-käyttäjät). Vain Lab-ammattikortilla on käyttöoikeus.

Taulukko 5.2 Rakennusten maanpäällisten osien suuntaa-antavia lämpötiloja T_{out}

Vuodenaika	Määräävä tekijä	Lämpötila T_{out} [°C]
Kesä	Suhteellinen absorptiokyky pinnan väristä riippuen	
	0,5 kiiltävä, vaalea pinta	$T_{max} + T_3$
	0,7 vaaleaksi värjätty pinta	$T_{max} + T_4$
	0,9 tumma pinta	$T_{max} + T_5$
Talvi		T_{min}
HUOM. Varjossa mitatun ilman maksimilämpötilan T_{max} , minimilämpötilan T_{min} ja auringonsäteilyn vaikutusten T_3 , T_4 , ja T_5 arvot voidaan määrittää kansallisessa liitteessä. Jos tietoja ei ole käytettävissä, suositellaan leveysasteiden 45° ja 55° välillä olevilla alueilla käytettäväksi arvoja $T_3 = 0$ °C, $T_4 = 2$ °C, ja $T_5 = 4$ °C pohjoisen ja idän välille suuntautuville rakennososille sekä $T_3 = 18$ °C, $T_4 = 30$ °C ja $T_5 = 42$ °C etelän ja lännen välille suuntautuville tai vaakasuuntaisille rakennososille.		

Kuva 39. Pinnan värin vaikutus mitoitettavaan lämpökuormaan

Pinnan musta väri ei itsessään ole mikään ongelma porttilehtien toiminnan kannalta vaan sen luoma lämpötilaero, porttilehden yläpään ja vedenalaisen osan välinen lämpötilaero on. Pystysuuntainen lämpötilaero voi aiheuttaa standardin mukaisesti kuvan 40 mukaisia seurauksia.

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (pöytäkirja: IP-käyttäjät). Vain Lab-ammattikortilla on käyttöoikeus.

6.1.4 Lämpötilaerot

(1) Tietyn ajan kuluessa sillan päällysrakenteen yläpinnan vuoroin lämmitessä ja jäähtyessä yläpinta lämpenee korkeimpaan lämpötilaansa (yläpinta alapintaa lämpimämpi) ja matalimpaan lämpötilaansa (alapinta yläpintaa lämpimämpi).

(2) Pystysuuntainen lämpötilaero voi aiheuttaa rakenteeseen vaikutuksia seuraavista syistä:

- vapaan käyristymisen estyminen rakenteen muodon takia (esim. portaalikehä, jatkuvat palkit jne.)
- kitka vierintälaakereilla
- geometrisesti epälineaariset vaikutukset (toisen kertaluvun vaikutukset).

Kuva 40. Lämpötilaerojen vaikutus pystysuunnassa (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2004).

Opinnäytetyössä ei lasketa lämpötilaeron aiheuttamaa käyritystä. Kappaleessa 6.6 esitetyissä taulukoissa on käyttöönoton jälkeisiä havaintoja porttilehtien käyrityksestä. Porttilehtien värin muutos ei välttämättä pelasta kyseiseltä tilanteelta, mutta se on osatekijä.

9 Päätelmät

Porttilehtien tiiveyteen vaikuttavat tekijät ovat osien valmistus ja asennustoleranssit, lämpölaajeneminen ja vedenpaine. Työssä esitettyjen laskelmien ja päätelmien pohjalta voidaan todeta, että jokaisessa näistä olisi kehitettävää. Jotta päästäisiin tilaajan asettamaan ulkopieliin porttilehtien asennuksen jälkeiseen tavoitteeseen ennen porttilehtien ensimmäistä aukaisua (+/- 0,5 mm), pitäisi osien olla koneistettuja ja suunnitelmissa huomioitu tämän kokoisen teräsrakenteen lämpölaajeneminen. Lisäksi lämpölaajeneminen olisi pitänyt ottaa suunnitelmissa huomioon laajemmin, sillä porttilehtien itä/länsi-akselin suuntainen liikkuminen on estetty sulkumuurien toimesta. Porttilehti pääsee vain liikkumaan tämän takia kanavan suuntaisesti. Kun sulku on täynnä ylävirran puolelta porttilehden ainut suunta, johon se pääsee lämpölaajenemaan, on alavirran puoli. Tämän seurauksena porttilehdille tulee muodonmuutoksia ja keski- sekä ulkoniveleen tulee rakoja, joista vesi pääsee läpi. Lämpötilojen laskettua porttilehdet kutistuvat ja aiheuttavat vuotoja.

Korjauksena tähän toimisi ruostumattomien teräsosien koneistus, joka pienentäisi toleransseja todella paljon. Myös laakerin valinnassa on tapahtunut virhe. Vanhan kaltainen P-, D- tai huulitiiviste antaisi enemmän anteeksi toleranssien ja lämpölaajenemisen tekemiä aukkoja. Pyöreä laakeri ottaisi kovassa puristuksessa vastaan koko laakerin alalta ja tiivistyisi samassa suhteessa, kun puristus kasvaisi. Tämän seurauksena keskinivel olisi tiiviimmin kiinni. Porttilehdet pysyvät toistaiseksi alle 10-15 °C asteessa hyvin kiinni ja vuotamatta. Kun lämpötila kasvaa porttilehtien lämpölaajeneminen aiheuttaa vuotoja juuri 1/3 ylhäältä päin katsottuna. Tähän kumilevy-laakerin muutos auttaisi.

Opinnäytetyön tuloksena osien toleransseista on tehty taulukko ja hahmotelma siitä kuinka paljon ne vaikuttavat porttilehtien tiiveyteen. Työssä on esitetty vaihtoehtoiseksi tavoiksi lämpötilojen tasaamisen, jälkivalujen vaikutus rakenteelle,

teräsosien koneistus, joka poistaisi suurimmat toleranssivaihtelut sekä pieliä kumilevylaakerin vaihto P- tai huulitiivisteeksi tiivisteeksi. Opinnäytetyössä on pohdittu pieliä hydrostaattisen paineen aiheuttamaa tiivistystapaa ja ehdotettu pieliä valun aikaisten ruuvien esisäättöä ennen valua, jotta valupaine olisi tasaisempi ja täten tiivistäisi pielen tiiviimmäksi. Myös porttilehden väriin ja sen tuomaan absorptio kertoimen on otettu kantaa, sillä se vaikuttaa oleellisesti porttilehtien lämpötilaeroihin.

Lähteet

Building an environmentally friendlier future with Lean Duplex Stalatube. <https://www.stalatube.com/News-and-events/2014/building-an-environmentally-friendlier-future-with-lean-duplex/> Luettu 17.1.2020

Hurskainen, T. 2005 Saimaan kanava kanaler.arnholm.nu/suomi/finland/saimaf.html. Luettu 17.1.2020

Ilmasto-opas, Nykyinen ilmasto - 30 vuoden keskiarvot. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html>. Luettu 20.2.2020

Levinson M. 2018. Standardization of mitre gates Master Thesis Report. Luettu 8.1.2020

Liikenneviraston ohjeita 28/2014 Standardin SFS-EN 1090-2 soveltamisohje Teräsrakenteiden toteutus – NCCI T (2014)

Liikenneviraston ohjeita 27/2016 Eurokoodin soveltamisohje Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu - NCCI 4 (2016)

Museovirasto www.rky.fi/read/asp/r_kohde_det.aspx?KOHDE_ID=1173 (1999) Luettu 12.2.2020

peda.net <https://peda.net/valkeakoski/opetuspalvelut/pk/tyry/oppiaineet/ma/fysiikka/fy-sir%C3%A9n/efysiikka-82/1all/kal> Luettu 20.1.2020

Rakennesuunnitelmaselostus ja laatuvaatimukset Saimaan kanava, alaporttien uusiminen 2017

Rideau Waterway, <http://www.rideaufriends.com/lockworks/> Luettu 20.2.2020

Simola, K-L 2018 IT-betonilla merkittävää tehoa pystyvaluihin. Betoni 4/2018 https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/11/BET1804_66-71.pdf. Luettu 25.1.2020

Suomen Betoniyhdistys Ry, BY 201 (2018). Betonitekniikan oppikirja.

Saimaan kanava www.saimaatravel.fi/fi/kohteet/saimaan-seutu/saimaan-kanava/. Luettu 23.2.2020

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN ISO 9444-2. (Kuumavalsatut ruostumattomat teräkset. Mitta- ja muototoleranssit. Osa 2: leveät nauhat ja levyt)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1996. SFS-EN ISO 3302-1. (Kumit: Tuotteiden toleranssit osa 1)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2009. Standardi SFS-EN 10088-4. (Ruostumattomat teräkset. Osa 4: Rakennuskäyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot).

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2004. Standardi SFS-EN 1991-1-5 Rakenteiden kuormat osa 5: Lämpötilakuormat

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2018. Standardi SFS-EN 1090-2(Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset)

TEPA-termipankki <http://www.tsk.fi/tepa/fi/haku/absorptio>. Luettu 25.2.2020

Gate sealing solutions (2016) therubbercompany.com/wp-content/uploads/Gate-Sealing-Solutions.pdf Luettu 1.3.2020

Väylävirasto 2018, Liikennöinti Saimaan kanavassa //vayla.fi/vesivaylat/kanavat/saimaan-kanava/liikennointi-saimaan-kanavassa#.Xlu1HEFS-Ul. Luettu 27.2.2020

Liitteet

Liite 1. SFS-EN 1090-2 taulukko 4 Ruostumattomien terästen tuotestandardit

Lataaja: ip-käyttäjä. Vain Lab-

Taulukko 4 Ruostumattomien terästen tuotestandardit

Tuotteet	Tekniset toimitusvaatimukset	Toleranssit
Ohutlevyt, levyt ja nauhat	EN 10088-4	EN ISO 9444-2, EN ISO 9445 (kaikki osat), EN ISO 18286
Putket (hitsatut)	EN 10296-2	EN ISO 1127
Putket (saumattomat)	EN 10297-2	
	EN 10088-5	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061
Nimeen ja numeroon perustuvat teräsnimikkeet esitetään standardissa EN 10088-1.		

Liite 2. SFS-EN 9444-2 taulukko 1 paksuustoleranssit

Taulukko 1 Paksuustoleranssit kuumavalssatuille nauhoille ja levyille ^a



Mitat millimetreinä

Paksuus t	Paksuustoleranssit ^b nimellislevyydellä	
	$w \leq 1\,400$	$1\,400 < w \leq 2\,500$
$t \leq 2,0$	$\pm 0,22$	$\pm 0,27$
$2,0 < t \leq 2,5$	$\pm 0,23$	$\pm 0,30$
$2,5 < t \leq 3,0$	$\pm 0,26$	$\pm 0,31$
$3,0 < t \leq 4,0$	$\pm 0,29$	$\pm 0,34$
$4,0 < t \leq 5,0$	$\pm 0,31$	$\pm 0,36$
$5,0 < t \leq 6,0$	$\pm 0,34$	$\pm 0,38$
$6,0 < t \leq 8,0$	$\pm 0,38$	$\pm 0,40$
$8,0 < t \leq 10,0$	$\pm 0,42$	$\pm 0,44$
$10,0 < t \leq 13,0$	$\pm 0,46$	$\pm 0,48$
$t > 13,0$	Toleransseista sovittava kyselyn ja tilauksen yhteydessä.	

Liite 3. SFS-EN 10088-4 teräslajin 1.4162 osa.

Outokumpu Stainless AB
SE-77480 AVESTA
Sweden
teräslajin 1.4162 osalta

Liite 4. Teräslajin 1.4162 materiaalitodistus

		Declaration of Performance		DoP No.: AW 1.4162
according to Annex III Construction Products Regulation (305/2011/EU)				
for the construction product		Hot or cold rolled stainless steel sheet/plate and coil		
1. Unique identification code for product type:		1.4162 – EN 10088-4:2009		
2. Batch No./Serial No. acc. to article 11 par. 4:		See marking / label / inspection document		
3. Intended use for construction product:		Building construction or civil engineering		
4. Contact address of manufacturer: acc. to article 11 par. 5		Outokumpu Stainless AB Avesta Works SE-774 22 Avesta, Sweden		
5. Contact address of authorised representative acc. article 12 par. 2:		Not appointed		
6. Assessment system and verification for constancy of performance acc. to annex V:		EN 10088-4, annex ZA, System 2+		
7. The notified body : has conducted the first inspection and continuous surveillance according to the system above and issued the certificate: as a confirmation of conformity for the factory production control.		TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, Hamburg, identification no.: 0045 0045-CPR-0869		
8. Construction product with European Technical Assessment:		No		
9. Declared performance:				
Essential characteristics	Performance		Harmonised technical specification	
Limiting dimension and shape tolerance	Tolerances acc. to EN 9444-2 / 9445-2		EN 10088-4:2009, section 6.9	
proof strength Rp0.2	Cold rolled 530 MPa	Hot rolled 500 MPa	EN 10088-4:2009, section 6.5.1	
tensile strength Rm	700-900 MPa	680-900 MPa		
elongation A	30 %	30 %		
ISO-V impact energy KV	--	40 J (transverse)		
Weldability	(proven by chemical composition)		EN 10088-4:2009, section 6.3	
Durability	(proven by chemical composition)		EN 10088-4:2009, section 6.3 and 6.4	
Fracture toughness/ brittle fracture	(proven by ISO-V impact energy)		EN 10088-4:2009, section 6.5.1	
Cold formability	(proven by elongation)		EN 10088-4:2009, Section 6.8	
Regulated substance	No performance determined			
<p>10. The performance of the product identified in points 1 and 2 is in conformity with the declared performance in point 9. This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 4.</p> <p>Signed for and on behalf of the manufacturer by Pål Åström, Senior Vice President:</p> 				
Avesta 2014-10-10				

Liite 5. Iso 3302-1 taulukko 1 kumilevylaakerin muototoleranssi

ISO 3302-1:1996(E)

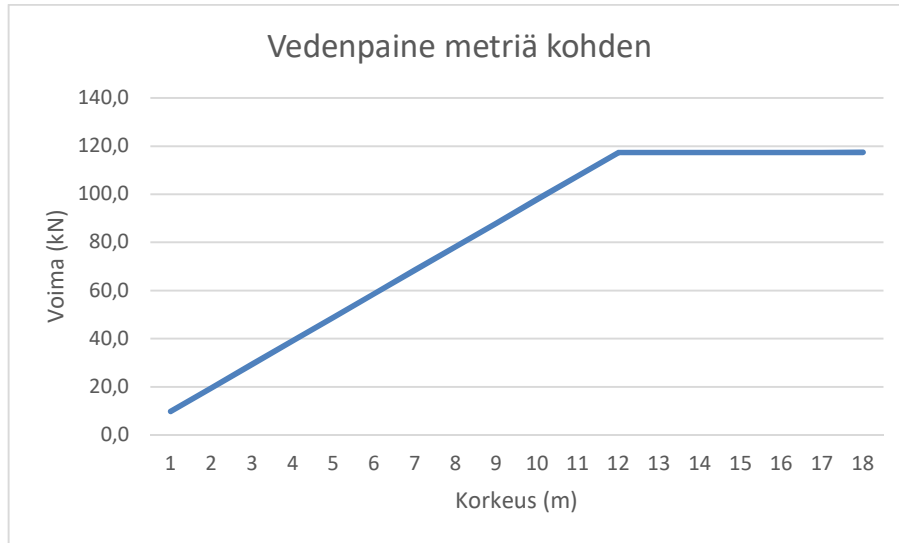
© ISO

Table 1 — Tolerances for mouldings

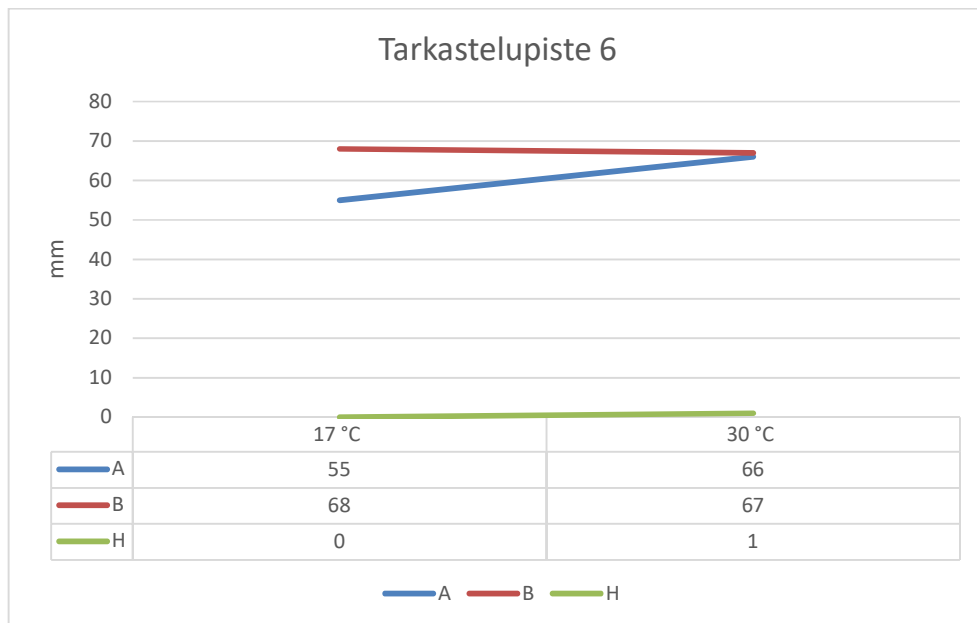
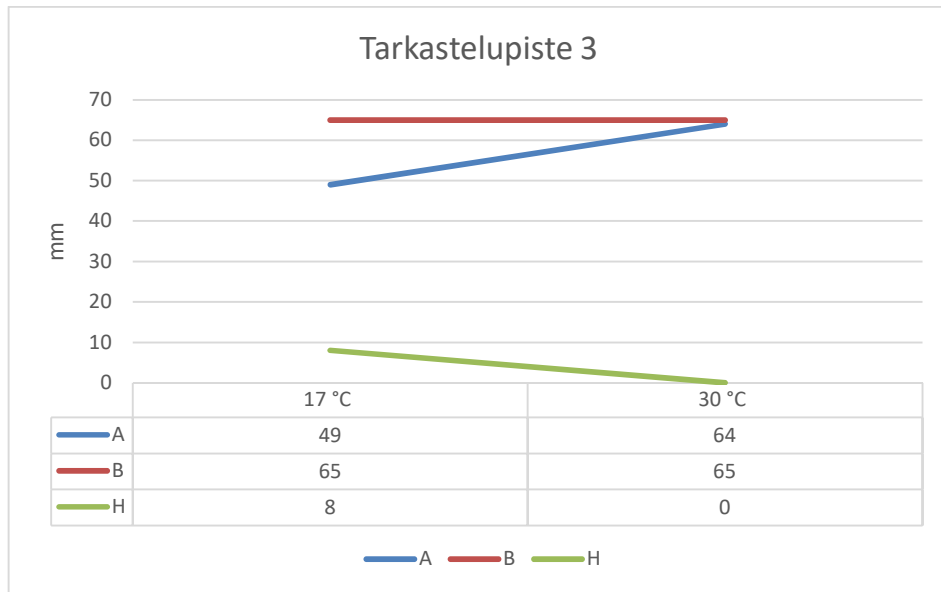
Values in millimetres (unless indicated otherwise)

Nominal dimension		Class M1		Class M2		Class M3		Class M4
above	up to and including	F ±	C ±	F ±	C ±	F ±	C ±	F and C ±
0	4,0	0,08	0,10	0,10	0,15	0,25	0,40	0,50
4,0	6,3	0,10	0,12	0,15	0,20	0,30	0,50	0,70
6,3	10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,40	0,60	0,80
10	16	0,15	0,20	0,20	0,25	0,50	0,80	1,00
16	25	0,20	0,20	0,25	0,35	0,60	1,00	1,30
25	40	0,20	0,25	0,35	0,40	0,80	1,30	1,60
40	63	0,25	0,35	0,40	0,50	1,00	1,60	2,0
63	100	0,35	0,40	0,50	0,70	1,30	2,0	2,5
100	160	0,40	0,50	0,70	0,80	1,30	2,0	2,5
160	—	0,3 %	0,4 %	0,5 %	0,7 %	0,8 %	1,3 %	1,5 %

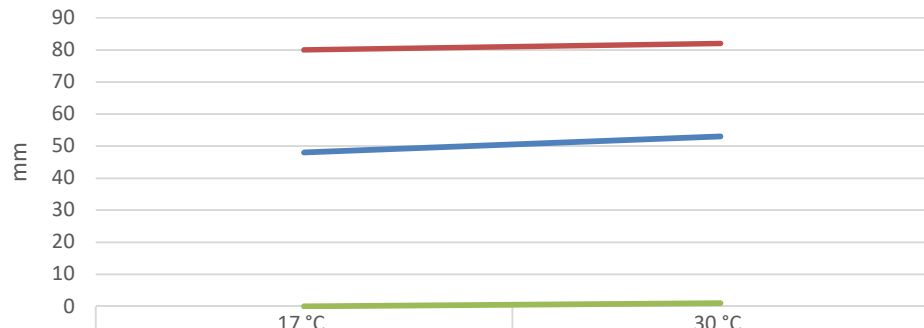
Liite 6. Vedenpaine yksinkertaistetussa mallissa.



Liite 7. Särkijärven porttilehtien liikkeit 17°C -30°C



Tarkastelupiste 21



	17 °C	30 °C
A	48	53
B	80	82
H	0	1

— A — B — H

Tarkastelupiste 24



	17 °C	30 °C
A	36	38
B	81	81
H	7	8

— A — B — H