

**TUULIKUORMITUSTEN AIHEUTTAMAT VAIKUTUKSET
ALUMIINIRAKENTEISISSA LIUKUPORTEISSA**

Kauranen Atte

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Atte Kauranen	Vuosi	2019
Ohjaaja	Ins. (AMK) Petri Kesälahti		
Toimeksiantaja	GPP Perimeter Protection Oy		
Työn nimi	Tuulikuormitusten aiheuttamat vaikutukset alumiinirakenteisissa liukuporteissa		
Sivu- ja liitesivumäärä	57 + 0		

Työn tavoitteena oli selvittää GPP Perimeter Protection Oy:n valmistaman 10 m pitkän alumiiniliukuportin käyttäytymisestä tuulisissa olosuhteissa. Opinnäytetyössä tutkittiin tuulesta aiheutuvaa portin sivuttaistaivuntaa erilaisilla tuulikuormituksilla. Voimakkaista tuulikuormituksista aiheutuva poikkeama on alumiinista rakennetulle liukuportille luontaista, mutta sen täytyy pysyä tietyissä rajoissa portin toimivuuden kannalta.

Työssä käytettiin työkaluna Autodesk Inventor -ohjelmaa, jonka avulla luotiin 3D-versio kaikista liukuporttiympäristöön liittyvistä osista, lopuksi yhdistämällä nämä yhdeksi kokonaisuudeksi.

Tuulivoimakkuuksista aiheutuvia poikkeamia tutkittiin ainoastaan simulaatioina, sillä käytännön kokeet olisivat vaatineet aina halutun voimakkuuksisen tuulen. Lisäksi liukuportille olisi täytynyt rakentaa paikallaan pyörivä alusta, jolla portti olisi voitu suunnata oikeassa kulmassa tuulta kohden.

Yhtenä suurimmista haasteista oli saada simuloitua mahdollisimman todenmukainen tuulta vastaava sivuttaiskuormitus Inventorilla. Lopulliset simuloinneista saadut lopputulokset kuitenkin viittaavat hyvin lähelle realistisia tuloksia, joita tukevat kirjoittajan monen vuoden alalta saatu käytännön kokemus kyseisestä aiheesta.

Simulaatioista saatuja tuloksia voidaan käyttää firman sisäisessä tuotekehityksessä sekä hyödyntää jatkotutkimuksia varten.

Technology, Communication and Transport
Mechanical and Production Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Atte Kauranen	Year	2019
Supervisor	Petri Kesälähti, BEng.		
Commissioned by	GPP Perimeter Protection Oy		
Subject of thesis	Effects of Wind Loads on Aluminium Sliding Gates		
Number of pages	57 + 0		

Wind force acts a huge role, when it comes to natural loads caused by outdoor air. By GPP Perimeter Protection Oy the aim of this thesis was to clarify the behaviour of a 10 meters long aluminium sliding gate loaded by wind of different strengths. Aluminium is quite susceptible to bending, which is also a natural feature of the gate. However, it is important that the lateral displacement caused by wind remains within certain limits due to the functionality of the gate.

Autodesk Inventor played a significant role in this work. By modelling 3D version of the gate environment, wind loads could be simulated theoretically without practical experiments. Practical tests would always have required the right kind of wind and a rotating platform for the gate, for which this work could not afford.

The big challenge was to be able to simulate the wind power that would be as close to the natural wind as possible. However, the results obtained with the Autodesk Inventor are very close to the reality supported by the author's many years of professional experience in the subject.

The results from the simulations can be used in the company's internal product development, as well as be utilized for further research.

Key words

aluminium sliding gate, wind load, lateral displacement

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	YRITYSESITTELY JA OMA TOIMENKUVA	7
3	LIUKUPORTTIYMPÄRISTÖ	8
3.1	Liukuporttiympäristön toteutus	8
3.2	Anturointi	8
3.3	Rullapukki	11
3.4	A-kaari	13
3.5	Liukuportti	15
4	TUULIKUORMAT	17
4.1	Mitä on tuulikuormitus?	17
4.2	Tuulikuormitus rakenteessa	18
4.2.1	Maastoluokka	22
4.2.2	Nopeuspaine	23
5	3D-MALLINNUKSET	24
5.1	Mallinnetut osat	24
5.2	Osat ja kokoonpanot	24
6	RASITTEIDEN SIMULOINTI	30
6.1	Simuloinnin tavoitteet	30
6.2	FEA-laskenta	32
6.3	Simuloinnin pohjustus	33
6.4	Tuulivoiman simulointi	34
7	FEA-TULOKSET	36
7.1	Tuulen nopeus 5 m/s	36
7.2	Tuulen nopeus 10 m/s	40
7.3	Tuulen nopeus 15 m/s	44
7.4	Tuulen nopeus 20 m/s	48
8	POHDINTA	54
	LÄHTEET	56

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

NTP	normaali lämpötila ja paine, jolloin lämpötila on 0 °C ja paine 1 013 hpa (Normal Temperature and Pressure)
FEA	elementtimenetelmälaskenta (Finite Element Analysis)
SYNOP	usealla eri säähavaintoasemalla tehtyjä yhtäaikaisia säähavaintoja (Surface Synoptic Observations)

1 JOHDANTO

Kehäsuojaus ja siihen liittyvät vaatimukset kasvavat jatkuvasti, joten myös suojausta edesauttavien rakenteiden täytyy olla tätä päivää vastaavia. Käsitteenä kehäsuojaus koostuu pääasiassa rakenteiden ja omaisuuden suojauksesta, porttien, aitojen ja kulunvalvonnan avulla. Kehäsuojauksen tehtävänä ei ole pelkästään estää ihmisten ja eläinten pääsyä alueelle, vaan sen täytyy myös kestää erilaiset sääilmiöt toimivuuden kannalta.

Opinnäytetyöni aihe liittyy tämän hetkiseen työhöni, jota olen tehnyt vuodesta 2006 lähtien. Työni toimeksiantajan kanssa päädyimme aiheeseen, joka käsittelee alumiinirakenteisten liukuporttien rakenteisiin kohdistuvia tuulikuormituksia ja niiden vaikutuksia liukuportin toimivuutta ajatellen. Tekstissä on käsitelty työhöni liittyviä toimintavaiheita ja niihin liittyviä asennusmateriaaleja, jotka pohjustavat opinnäytetyön pääasiallista tavoitetta.

Työssä käydään läpi Autodesk Inventor -ohjelmalla tehtyjä mallinnuksia siinä määrin, että lukija hahmottaa työn kokonaisuuden ja näkee mallinnettavat osat ja kokoonpanot. Opinnäytetyö ei sisällä ohjelman mallinnuksiin liittyviä ohjeistuksia, mutta antaa perusteet Inventor FEA -käyttöjärjestelmästä, jota käytetään tuulikuormitusten simuloinneissa.

Pääasiassa työssä keskitytään sivuttaistuulikuormitukseen, jotka aiheuttavat rasitteita ja muodon muutoksia liukuporttilehden rakenteissa. Työn tarkoituksena on teoreettisesti tutkia, millä tavalla 10 metrin ajoaukkoon tuotettu alumiiniliukuportti kestää sivuttaistuulikuormitusta Suomen yleisimmissä tuuliolosuhteissa. Tuloksista saatu tieto auttaa ymmärtämään tuulesta aiheutuvien kuormitusten vaikutukset, joita voidaan hyödyntää jatkossa. Oleellista olisi selvittää, kuinka voimakasta sivuttaiskuormitusta portti kykenee vastaanottamaan, samalla säilyttäen toimivuuden edestakaisessa liikkeessä.

2 YRITYSESITTELY JA OMA TOIMENKUVA

GPP Perimeter Protection Oy on Euroopan johtavia kehäsuojauksen ammattilaisia, yli 60 vuoden alakohtaisella kokemuksella. Yritys tarjoaa turvallisuuspalveluita eri toimialoille, joihin kuuluvat teollisuus, voimalaitokset, vankilat, satamat, lähetystöt, rahoitusala, sotilasalueet, satamat, logistiikka-ala sekä julkiset alueet. Toimipisteitä löytyy Suomen lisäksi Ruotsista, Tanskasta, Saksasta ja Sveitsistä. (TPPG The Perimeter Protection Group AB 2017.)

Yritys tarjoaa asiakaskohtaisen ratkaisun suunnittelusta asennukseen ja aina lopulliseen käyttöönottoon asti. Tuotehuollolla taataan turvasulkujen ja -laitteistojen jatkuva moitteeton ympärivuotinen toimivuus. Yrityksen tuotevalikoima koostuu verkko- ja elementtiaidoista aina korkean turvallisuuden tuotteisiin, joihin kuuluvat törmäystestatut portit, pollarit, wedge barrierit ja road blockerit. Jokaiselle asiakkaalle voidaan tuotevalikoimasta räätälöidä hänen tarpeisiinsa soveltuva kokonaisratkaisu. (TPPG The Perimeter Protection Group AB 2017.)

Asiakkaat saavat aina luotettavaa suojausta, sen takaa tuotantolaitosten DIN EN ISO 9001 sertifiointi, jonka moderni laadunvalvonta todistetusti takaa vakaan laadun tuotteilleen. ISO 9001 standardista asiakas ymmärtää yrityksen ammattimaisuuden, jolla pois suljetaan ei-ammattitaitoisia kilpailijoita. Sen avulla lisätään näkyvyyttä kilpaillulla alalla ja kykyä vastata sen haasteisiin. (TPPG The Perimeter Protection Group AB 2017.)

Toimenkuvani keskittyy pääasiassa erilaisten turva-aitojen ja -porttien asennuksiin, joihin kuuluvat aitalinjan suunnittelu, perustusten teko, kaapelivaraosputkien asennus, sekä turvamateriaalien asennukset. Sähkötyöt eivät kuulu ammattitaitooni, jonka vuoksi niitä ei opinnäytetyössä käsitellä tarkemmin.

Työni on komennusluonteista, jonka toimialue päätoimisesti sijoittuu Suomeen, alkaen Jyväskylästä ylöspäin. Asennuksia on myös aika ajoin Etelä-Suomessa sekä Pohjois-Ruotsissa. Suomen pääkonttorimme sijaitsee Nurmijärvellä, jossa tuotetaan osa porttituotteistamme ja josta käsin asennukset tehdään pääosin Jyväskylän alapuolella sijaitseviin kohteisiin.

3 LIUKUPORTTIYMPÄRISTÖ

Liukuporttiympäristö koostuu liukuportista, porttia tukevasta etukaaresta, liukuportin liikeradan määräävästä rullapukista, portin vastakaaresta sekä betoniperustuksista. Mikäli kyseessä on sähkökäyttöinen portti, myös sen sähköjärjestelmä sisältyy tällöin liukuporttikokonaisuuteen, johon kuuluu myös portin moottori. Porttiaukon leveys määräytyy asiakkaan tarpeiden mukaan. Yleensä portin vapaa-aukko on 5-10 metriä.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään 10 m aukolla olevaan liukuporttikokoonpaukoon, mikä vastaa tällä hetkellä suurinta kulkuaukkoa, joka yhdellä portilla voidaan toteuttaa.

3.1 Liukuporttiympäristön toteutus

Uuden työprojektin tapaisesti, alkaa liukuporttiympäristön toteuttaminen suunnittelulla. Ensimmäinen vaihe työstä on tieto, minne asennusta lähdetään suorittamaan, jonka jälkeen selvitetään tulevan portin tarkka asennuspaikka sekä kohteen maaperä. Näillä tiedoilla voidaan määrittää työkalusto, jolla liukuportin betoniperustuksille saadaan kaivettua oikean kokoiset alustat valamisessa tarvittavia muotteja varten. Kaivuualustan pinta-alaan vaikuttaa se, tuleeko portti olemaan manuaalikäytössä vai sähköisessä käytössä, jolloin sähkökaapeleiden suojausputkien vaatima tila täytyy ottaa myös huomioon.

Itse kaapeleiden ja suojausputkien asentaminen kuuluu myös anturoinnin aikaisiin työvaiheisiin, kun kyseessä on sähköohjaus.

3.2 Anturointi

Jokaiselle liukuporttikoolle on määritelty niiden tarvitsemat betonianturoiden koot. Liukuportti vaatii kaksi anturaa, joista toinen tukee itse liukuporttia ja toinen liukuportin vastakaarta. Vaihtoehtoisesti nämä anturat voidaan valaa yhdysvalupalkkina, jolloin betoni vaatii tuekseen raudoituksen, jolla estetään betonin halkeaminen yli ajettaessa. Kuvassa 1 nähdään QFG-pikataittoportin yhdysvalupalkki, joka vastaa valmistusperiaatteeltaan liukuportin yhdysvalupalkkia.

Betonianturat valetaan yleensä foam-muottilaatikoihin, jotka tuetaan puukehikoilla. Anturoinnin on oltava tarvittavan kokoinen pysyäkseen paikallaan liukuportin liikkua sekä portin ollessa paikoillaan eri asennoissa. Betonianturat valetaan routimattomaan maahan, mikä usein vaatii maaperän massan vaihdosta. Pohjalle asennetulla hiekalla ja sen päälle asennetulla karkealla sepelillä, saadaan luotua kapillaarikatko (Sippala yhtiöt N.d.), jonka tärkein tehtävä on estää maan jäätymisestä ja sulamisesta aiheutuva perustuksen liikkuminen.



Kuva 1. QFG-pikataittoportin yhdysvalupalkki

Betonianturaan kohdistuva rasitus on suurimmillaan portin ollessa sen jommasakummassa ääripäässään, joko täysin kiinni- tai auki-asennossa. Tällöin anturaan kohdistuva vääntömometti on voimakkaimmillaan, jolloin pahimmassa tapauksessa antura alkaa nousta sen taka- tai etuosasta.

Betonianturaan kohdistuva vääntörasitus saadaan lähes täysin eliminoitua asentamalla portin painopiste keskelle rullastoa. Tällä tavoin portin ollessa tasapainossa voidaan betonianturaan kiinnitetyn rullapukin kiila-ankkureiden muttereita väliaikaisesti löysätä mahdollisia huoltotoimenpiteitä varten.

Porttiympäristön rakentaminen aloitetaan aina betonianturoiden teosta. Anturan kokoon vaikuttaa liukuportin koko, mikä tässä tapauksessa on suurin mahdollinen eli 10 m aukolla oleva liukuportti, jonka kokonaispituus on noin 12,5 m. Tämä

liukuportti vaatii betonianturan, jonka mitat ovat (700 x 600 x 2500) mm (K x L x S), jolloin tilavuudeksi saadaan 1,05 m³, mikä vastaa 1050 litraa (GPP Perimeter Protection 2017). Massaksi tälle tilavuudelle saadaan noin 2500 kg (LKAB Minerals Oy 2015, 74), mikä riittää pitämään liukuportin paikoillaan.

Liukuportin vastakaari, jonka sisään liukuportti sulkeutuessaan liukuu, tarvitsee myös perustuksen alle. Vastakaareen ja sitä tukevaan anturaan kohdistuva rasitus on hyvin pientä verrattuna liukuportin anturaan, sillä vastakaari itsessään painaa vain noin kaksikymmentä kiloa ja on kiinteästi koko ajan yhdessä asennossa.

Vastakaaren betonianturan mitat ovat (700 x 500 x 500) mm (K x L x S), jolloin tilavuudeksi saadaan 0,175 m³, mikä vastaa 175 litraa ja massaksi tälle saadaan noin 420 kg (emt.).

Kymmenen metrin aukolla olevan liukuportin anturat asennetaan sisämitaltaan 9800 mm etäisyydelle toisistaan. Tämä siksi, koska liukuporttia ei voida porata anturan reunaan betonin halkeamisen vuoksi. Molemmat anturat täytyy ehdottomasti valaa niin sanottuun vatupassiin, jolloin niiden pinta on tasainen ja samalla korolla toisiinsa nähden. Syynä tähän on liukuportin säätövara, mitä ei teoriassa ole, mutta käytännössä liukuportin asentoa voidaan korjata rullapukin alle asennettavilla ulokkeilla, esimerkiksi korilaatoilla tai shimmilevyillä. Tämä ei kuitenkaan ole suotavaa, joten lähtökohtaisesti anturat pyritään valamaan suoraan betoniliippaa ja pitkää vatupassia käyttäen.

Tarkennukseksi edellä mainittuihin pinta-ala- ja massalaskelmiin todettakoon, että betonianturat asennetaan 99 % tapauksista tiivistettyyn maahan, jolloin niiden pinta voi olla maanpinnan kanssa samalla tasolla tai hieman sen yläpuolella. Tämä riippuu maanpinnan korkoerosta anturoiden välillä, sekä kohteen olosuhteista, esimerkiksi luminen alue, jolloin tarvitaan korkeampi maavara talveksi. Anturoiden ympärillä oleva tiivistetty maa lisää tukevuutta ja kuormituksen sietokykyä, näin ollen jämäköittäen liukuportin liikeradan.

Betonianturoille tarvittavan lujuuden aikaansaamiseksi täytyy anturat suojata ja antaa niiden kuivua +20 asteessa noin 2 vuorokautta, ennen kuin niihin voidaan

porata kiinnikkeitä. Kylmemmällä kelillä, riippuen lämpötilasta, anturoiden täytyy kuivua jopa tuplaten edellä mainittu aika.

Anturoiden suojaus tapahtuu asettamalla betoneiden päälle suojapeite tai vaihtoehtoisesti kylmemmällä kelillä foam-levyjä. Pakkaskeleillä valettaessa täytyy anturat suojata erityisen hyvin ja mahdollisesti asentaa niille lämmitykset, jotta betoni ei pääse kovetus prosessin aikana jäätymään. Suojat asennetaan niin, etteivät ne pääse vastaamaan betoniin. Tämä siksi, ettei anturan pintaan tulisi epämuodostumia tai pahimmassa tapauksessa suoraan liipattu pinta menisi kallelleen. Huolimattomasti asennettu suojaus hankaloittaa betoniin porattavien tarvikkeiden asennusta, samalla heikentäen liukuportin tukevuutta.

3.3 Rullapukki

Liukuportin rullapukki (Kuva 2) koostuu kahdesta teräksisestä 100 x 65 mm suorasta ja 8 mm:n vahvuisesta kulmaraudasta, jotka ovat pituudeltaan 1980 mm. Kyseiset osat asennetaan 30 mm:n etäisyydelle toisistaan ja niiden keskilinja katsotaan linjalankaa käyttäen osoittamaan vastakkaiseen betonianturiin keskelle, liukuportin oikean suunnan varmistamiseksi. Kulmaraudat asennetaan anturin päätyreunasta noin 100 mm ulospäin, anturin murentumisen estämiseksi porausvaiheessa.

Rullapukin kiinnittämisessä käytetään 12 mm vahvoja kiila-ankkureita, joiden pituus on minimissään 150 mm. Porattaessa ankkurit tarpeeksi syvälle varmistetaan niille riittävä tiukkuus betonissa pysymiselle. 12 mm vahvoille ankkureille porataan saman vahvuiset reiät, jotta tiukkuus olisi oikeanlainen.

Vaihtoehtoisesti voidaan kiinnikkeinä käyttää 12 mm:n vahvuista kierretankoa, jolle porataan 14 mm:n vahvuiset ja ≥ 100 mm:n syvyiset reiät, jotka huolellisen puhdistamisen jälkeen täytetään kemiallisella kovetemassalla kierretankojen kiinnitystä varten. Kemialliset massat vaativat valmistajan ilmoittaman kovettumisaian. Tätä on tärkeää noudattaa, sillä liian aikaiset jatkotoimenpiteet hajottavat massan, jolloin siitä tulee käyttökelvotonta.

Kiinnityksen jälkeen kaksi kappaletta nailonrullista koostuvaa rullasatulaa (Kuva 3) asennetaan rullapukin kulmapalasten väliin läpipulteihin. Itse liukuportti liikkuu

näiden päällä. Rullapukki voi vaihtoehtoisesti olla valmiiksi kokonaisuudessaan koottuna, jolloin se voidaan asentaa suoraan paikoilleen ilman edellä käytyjä toimenpiteitä.



Kuva 2. Rullapukki



Kuva 3. Rullapukin rullasatula

3.4 A-kaari

Ennen liukuportin asennusta täytyy rullapukin etupäähän kiinnittää A-kaari (Kuva 4). Tämä tukee porttia ja estää sen huojumisen sivuttaissuunnassa, pitäen sen pystysuorassa. A-kaaren sisäosaan ylhäälle asennetaan kaksi kappaletta nailonrullia, jotka edesauttavat liukuportin liikkumista. Kaaren kiinnityksessä käytetään 12 mm:n vahvuisia kiila-ankkureita.

Liukuportin vastakaaren, joka on malliltaan identtinen A-kaaren kanssa, kiinnityksessä käytetään myös 12 mm:n kiila-ankkureita, mutta kaareen kohdistuvan vähäisen rasitteen takia, voidaan se kiinnittää minimissään 100 mm:n pituisilla kiila-ankkureilla. Vastakaaren kiinnitys tapahtuu aina kokoonpanon viimeisenä vaiheena, jolloin sen tarkka paikka nähdään liukuportin kiinnioloasennolla.



Kuva 4. A-kaari

Kiila-ankkureissa ja kierretangossa täytyy ulkokäytössä ottaa huomioon se, että ne ovat kuumasinkittyjä tai vaihtoehtoisesti haponkestäviä, jotta ne kestävät tietyssä ilmastorasitusluokassa (Taulukko 1). Esimerkiksi sähkösinkityt tuotteet eivät sovellu ulkokäyttöön niiden heikon korroosionkeston vuoksi. (Würth 2016.)

Taulukko 1. SFS-EN ISO 12944-2 standardin mukaiset ilmastorasitusluokat

Rasitusluokka	Rasite	Kuvaus
C1	Hyvin lievä	Kuivat sisätilat
C2	Lievä	Lämmittämättömät sisätilat, kuiva ja puhdas ulkoilma sekä maaseutuilmasto
C3	Kohtalainen	Kaupunki- ja teollisuusilmasto, jossa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikot, joissa alhainen suolapitoisuus. Sisällä tuotantotilat, joissa korkea kosteus ja epäpuhtauksia ilmassa
C4	Ankara	Ulkoteollisuus-, sekä rannikkoalueet, joissa kohtalainen suolapitoisuus. Rannikolla telakat. Sisätiloissa kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uimahallit ja -altaat
C5-i	Hyvin ankara, teollisuus ilmasto	Teollisuusalueet, joissa korkea kosteus ja syövyttävä ilmasto. Sisätilat, joissa kondensoituminen miltei jatkuvaa ja ilman saastemäärät korkeita
C5-m	Hyvin ankara, meri-ilmasto	Meri-ilmasto, jossa suolapitoisuus korkea. Sisällä rakennukset tai alueet, joissa kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja ilman saastemäärät korkeita

3.5 Liukuportti

Rullapukin ja siihen sijoitetun A-kaaren kiinnitysten jälkeen asennetaan liukuportti (Kuva 5) paikoilleen. Tämä onnistuu miesvoimin tai nostokonetta käyttäen. Esimerkiksi pyöräkone, johon on liitetty trukkiipiikit tai kurotin, soveltuu tähän tehtävään mainiosti. Opinnäytetyössä käsiteltävän 10 metrin ajoaukolla varustetun liukuportin tapauksessa on järkevää käyttää nostokonetta, portin raskaan rakenteen vuoksi.

Liukuportti voidaan asentaa rullapukkiin joko sen etu- tai takapäädystä. Riippuen siitä, kumpaa puolta käytetään, irrotetaan liukuportin alapalkin päätylevy portin jommastakummasta päästä. Kun liukuportti on saatu asennettua rullapukkiin kiinni, kiinnitetään päätylevy takaisin paikoilleen, jolla estetään liukuportin pois paikoiltaan pääsy.



Kuva 5. Liukuportti

Viimeisenä työvaiheena liukuportin vasta-anturiin voidaan asentaa portin vasta-kaari, joka on malliltaan identtinen A-kaaren kanssa.

Liukuportti työnnetään sen kiinni-asentoon, jolloin nähdään vastakaaren tarkka asennuspaikka. Vastakaari kiinnitetään betonianturaan 12 mm vahvoilla kiila-ankkureilla. Ankkureihin kohdistuvan pienen rasitteen vuoksi voivat ne olla alle 150, mutta vähintään 100 mm pitkiä.

Vastakaaren tehtävänä on estää portin tarpeeton sivuttaisliikkehäntä sen ollessa kiinniasennossa. Sivuttaisliikkeen minimoimiseksi portin etupäähän voidaan asentaa nailonrullat, joiden etäisyydestä laskettu ulkomitta on lähes sama kuin vastakaaren sisämitta. Lisä optiona vastakaareen asennettavat ”hakijat” auttavat liukuporttia ajautumaan kiinniasentoonsa tuulisilla alueilla.

Liukuporteille olisi hyvä rakentaa aina sääsuoja (Kuva 6). Tällä pystytään pitämään portin rullapukki ja siihen mahdollisesti liitetty porttimoottori puhtaina säilmiöiltä. Lisäksi portin ollessa auki-asennossa on portti täysin tuulikuormituksilta suojassa. Kuvassa 7 on esitetty liukuporttiympäristö, johon sisältyy kaikki edellä käydyt rakenneosat, ilman sääsuojaa kokoonpanoksi asennettuna.



Kuva 6. Liukuportin sääsuoja



Kuva 7. Liukuporttiympäristö

4 TUULIKUORMAT

Tuuli on liikkuvaa ilmaa, mitä ei yleensä tule ajatelleeksi sen kummemmin. Myrskysisellä säällä tämän liikkuvan ilman aistii ja tuntee, jolloin tuuli todella huomauttaa olemassaolostaan.

Alumiinisen liukuportin liikerata häiriintyy tuulisella säällä. Riippuen tuulen voimakkuudesta ja sen tulosuunnasta, voi ylimääräinen liikehdintä esiintyä harmitoman pienestä, voimakkaaseen sivuttaisliikehdintään. Liukuporttirakenteisiin kohdistuva sivuttaistuulikuormitus aiheuttaa ylimääräistä värähtelyä portissa. Tämä ei toivottu liikehdintä kasvaa, mitä pidemmällä liukuportin keulaosa on, portin liikkeessä kiinnioloasentoonsa.

4.1 Mitä on tuulikuormitus?

Käsitteenä tuulikuormitus tarkoittaa liikkuvasta ilmasta, tutummin tuulesta aiheutuvaa kuormitusta esineeseen tai rakenteeseen. Osuessaan rakenteen pintaan tämä voima muuntautuu painevoimaksi (Engineering ToolBox 2011). Voimatasoltaan tuulikuormitus on kuitenkin jatkuvasti vaihteleva, jolloin pintaan kohdistuva paine ei ole tasaisen voimakasta. Tämä aiheuttaa varsinkin osittain kiinteissä esineissä edestakaista liikettä. Mitä voimakkaampaa tuulikuormitus on, sitä haitallisempaa se on rakenteille, jotka eivät ole kauttaaltaan kiinnitettyjä. Edestakaisen liikkeen lisäksi kovasta tuulesta voi koitua väliaikaisia tai jopa pysyviä muodonmuutoksia rakenteisiin.

Myrskypäivinä tuulikuormitus on huomattavasti normaalia voimakkaampaa, jolloin siitä aiheutuvat mahdolliset vahingot täytyy huomioida yleisesti rakennus- ja asennusvaiheissa. Yleisesti sääasemilla tuulta mitataan 10 metriä maaston yläpuolelta, ellei haluta jostain erikoisyydestä mitata alemmaa läheltä kasvustoa tai korkeammalta vapaampaa tuulta (Suomen tuuliatlas 2011). Ilmatieteen laitos kirjaa jokaisen Suomessa vallinneen myrskypäivän. Näiden perusteella osataan arvioida keskimääräisesti vuosittainen myrskyjen lukumäärä (Taulukko 2). Myrskypäiväksi katsotaan päivä, jolloin ainakin yhdellä merisäähavaintoasemalla on mitattu 10 minuutin keskituulen nopeudeksi vähintään 21 m/s kolmen tunnin välein tehtävissä SYNOP-havainnoissa (Ilmatieteen laitos 2019).

Taulukko 2. Myrskyjen toistuvuudet Suomessa (Ilmatieteen laitos 2019)

Arvio myrskytuulen esiintymisestä Suomen merialueilla (kaikki meriasemat) *		
10 minuutin keski- tuulen nopeus vähintään	Esiintyvyys keskimäärin	Myrskyn luokkanimitys
21 m/s	15 kertaa vuodessa	myrsky
25 m/s	3 kertaa vuodessa	kova myrsky
28 m/s	joka toinen vuosi	kova myrsky
29 m/s	kerran 4 vuodessa	ankara myrsky
30 m/s	kerran 13 vuodessa	ankara myrsky
31 m/s	kerran 20 vuodessa	ankara myrsky

Tuulen voimakkuutta korostavat entisestään puuskat, jotka epäsäännöllisellä rytmillään maksimoivat sen hetkisen tuulen aiheuttaman kuormituksen. Tutkimuksista tiedetään, että hetkelliset 5-10 sekunnin tuulen puuskat ovat 1,5-2 kertaa voimakkaampia verrattuna 10 minuutin keskinopeutena mitattuun tuuleen (Ilmatieteen laitos 2019).

Tuulikuormitukset voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: kohottava tuulikuormitus, leikkaava tuulikuormitus ja sivuttainen tuulikuormitus. Kohottava tuulikuormitus luo nostattavan vaikutuksen, mikä rakenteiden alla työntää kohdetta ylöspäin ja rakenteen yläpuolella nostaa sitä ylöspäin. Leikkaava tuulikuormitus on vaakasuuntaista voimaa, joka rakenteen pintaa rikkomalla aiheuttaa siinä kallistumia. Sivuttaisen tuulikuormituksen työntävä ja vetävä voima saa rakenteiden liikkumaan paikoiltaan. (Reichel 2008.)

4.2 Tuulikuormitus rakenteessa

Ulkoilmassa olevia rakenteita ajateltaessa olisi tärkeä tietää, millaisia tuulivoimia ne kestävät, jotta niille voidaan luvata toimintavarmuus tietynlaisessa olosuhteissa. Riippuen rakenteen pinta-alasta ja sen muodosta, ovat tuulikuormitusten vaikutukset vaihtelevia eri kappaleissa.

Kymmenen metrin ajoaukolle tarkoitettussa alumiinisessa liukuportissa tuulikuormituksille altistuva pinta-ala ilman sääsuojaa on aina sama. Riippuen liukuportin asemasta, on tuulesta aiheutuva värähtely eri laajuista. Ajoaukosta käsin katsottuna portin värähtely on suurinta liukuportin aseman ollessa juuri ennen kiinniasentoa, jolloin portin pinta-ala on suurimmillaan ilman tuentaa. Liukuportin keulan ollessa vastakaaren sisällä ovat portin molemmat päät lukittuina, jolloin se ei ole enää vaarassa tuulikuormituksille.

Tuulen aiheuttamaan kuormitukseen sen nopeuden lisäksi vaikuttaa ilmantiheys ja -kosteus. Mitä tiheämpää ja kuivempaa ilma on, sitä raskaampaa se on masaltaan. Tämä johtuu siitä, että typen ja hapen molekyylit ovat veden molekyylejä raskaampia, jolloin sama tuulen nopeus eri lämpötilassa aiheuttaa eri suuruisen kuormituksen. (Newton 1704.)

Suomen ilmastossa ilman tiheys voi vaihdella noin 15 % riippuen ilman lämpötilasta (Taulukko 3). Esimerkkinä NTP-tilassa oleva ilmantiheys on 1,292 kg/m³ (Nurminen & Vaarnas 1972, osa 2) ja samassa paineessa 1,225 kg/ m³ lämpötilan ollessa 15 °C (Taulukko 3).

Taulukko 3. Ilman tiheydet eri lämpötiloissa

Temperature <i>T</i> (°C)	Density of air <i>ρ</i> (kg/m ³)
35	1.1455
30	1.1644
25	1.1839
20	1.2041
15	1.2250
10	1.2466
5	1.2690
0	1.2922
-5	1.3163
-10	1.3413
-15	1.3673
-20	1.3943
-25	1.4224

Tuulen pysähtyessä rakenteen pintaan muuttuu sen dynaaminen energia painevoimaksi.

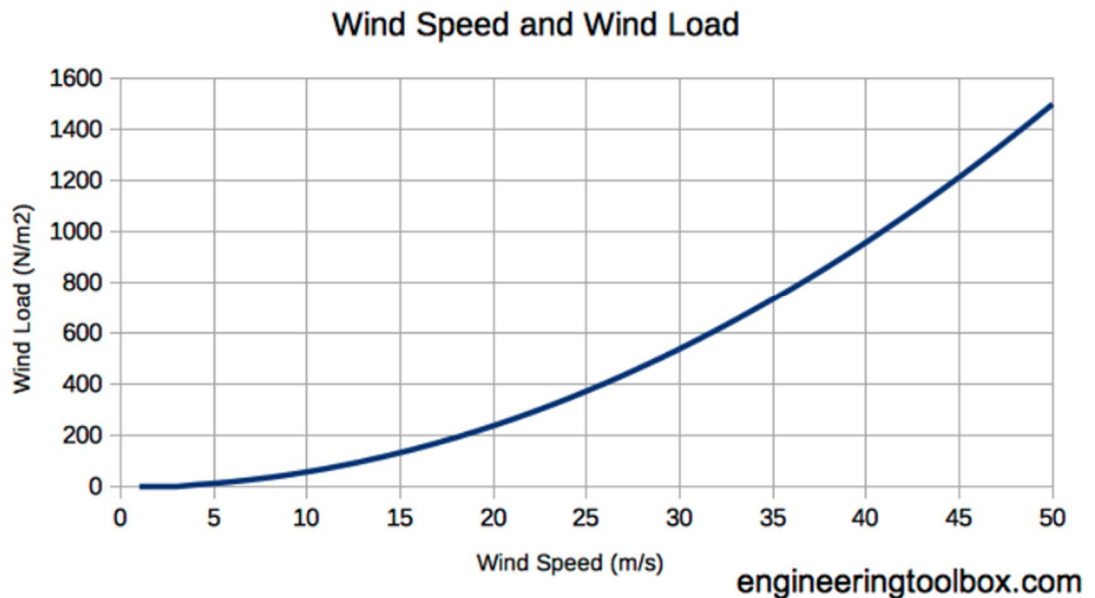
Painevoima ilmaistaan pinta-alaan kohdistuvana voimana:

$$Pa = N / m^2 \quad (1)$$

missä

Pascal (Pa) vastaa yhtä Newtonin voimaa neliometriä kohden (N / m^2)

Tuulen nopeuden kasvaessa, siitä syntyvä pintaan kohdistuva paine kasvaa niin ikään, mikä esitetään kuviossa 1.



Kuvio 1. Tuulen paine suhteessa sen nopeuteen (Engineering toolbox 2011)

Pinta-alaan kohdistuva painevoima muuttuu eteenpäin pyrkiväksi työntövoimaksi:

$$\begin{aligned} F_t &= p_{\text{dyn}} A \\ &= 1/2 \rho v^2 A \end{aligned} \quad (2)$$

missä

F_t on tuulivoima (N)

A on pinta-ala (m^2)

p_{dyn}	on	dynaaminen paine (Pa)
ρ	on	ilman tiheys (kg / m ³)
v	on	tuulen nopeus (m / s)

Esimerkiksi: syyspäivänä 20 m/s puhaltava tuuli vaikuttaa 10 m² seinään, ilman tiheyden ollessa 1.26 kg/m³, josta pinta-alaan kohdistuva voima voidaan laskea:

$$\begin{aligned}
 F_t &= 1/2 \rho v^2 A && (3) \\
 &= 1/2 (1.26 \text{ kg/m}^3) (20 \text{ m/s})^2 (10 \text{ m}^2) \\
 &= \underline{2520 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

ja voima muutettuna massaksi:

$$F = m \cdot a$$

missä

F	on	voima (N)
m	on	massa (kg)
a	on	kiihtyvyys (m/s ²)

jolloin

$$\begin{aligned}
 m &= F / a && (4) \\
 &= 2520 \text{ N} / 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= \underline{257 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

4.2.1 Maastoluokka

Tuulen vaikutus vaihtelee maastoluokittain riippuen maaston muodoista ja siinä olevista luonnollista tai rakenteellisista esteistä (Kuvio 2). Meren rannikolla tuulivoima vaikuttaa luonnollisesti voimakkaammin kuin alueella, joka sisältää tiheää kasvillisuutta tai rakennuksia. Liukuportin sijoitus sen parhaan toimivuuden kannalta ei ole täten yhden tekevää.

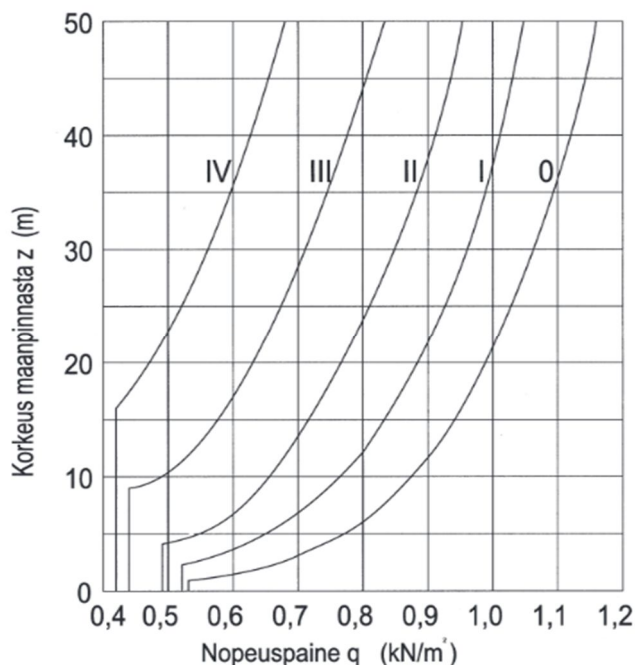


Kuvio 2. Maastoluokkien graafiset kuvaukset (RIL 201-1-2008, 127)

4.2.2 Nopeuspaine

Säätieteellisesti havaittujen tuulenopeuspaineiden avulla pystytään laskemaan rakennusten runkoihin kohdistuvista paineista aiheutuvat tuulikuormitukset. Jokaiselle maastoluokalle on määritelty sille ominainen nopeuspaine.

Kuvion 3 käyrästä voidaan nähdä rakenteeseen kohdistuva nopeuspaine, kun tiedetään rakenteen korkeus sekä maastoluokka. Tarkempiin tuloksiin päästään käyttämällä kuvion 4 kaavoja. Liukuporttiin kohdistuvaa painetta laskiessa, annetaan korkeuden arvoksi kaksi metriä.



Kuvio 3. Tuulen nopeuspaineet eri maastoluokissa käyrästä (Rakennusten varmuus ja kuormitukset 1998, 434)

$$q_{p0}(z) = \left\{ \begin{array}{l} 0,00893 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(1,z)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \cdot \ln \left(\frac{\max(1,z)}{0,003} \right) \quad \text{maastoluokassa 0} \\ 0,00794 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(1,z)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 \cdot \ln \left(\frac{\max(1,z)}{0,01} \right) \quad \text{maastoluokassa I} \\ 0,00995 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(2,z)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 \cdot \ln \left(\frac{\max(2,z)}{0,05} \right) \quad \text{maastoluokassa II} \\ 0,01279 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(5,z)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 \cdot \ln \left(\frac{\max(5,z)}{0,3} \right) \quad \text{maastoluokassa III} \\ 0,01513 \cdot \left[\ln \left(\frac{\max(10,z)}{1,0} \right) \right]^2 + 0,1059 \cdot \ln \left(\frac{\max(10,z)}{1,0} \right) \quad \text{maastoluokassa IV} \end{array} \right.$$

Kuvio 4. Kaava tuulen nopeuspaineen laskemista varten eri maastoluokissa (RIL 201-1-2011, 184)

5 3D-MALLINNUKSET

3D-mallinnukset ovat tärkeä osa tämän opinnäytetyön kokonaisuutta, sillä niiden simulointi tuulikuormituksilla korvaa käytännön rasitekokeet. Yksittäiset kappaleet sekä lopullinen kokoonpano on mallinnettu Autodesk Inventor -ohjelmalla.

Kappaleet on mallinnettu joko mittaamalla tai rakennepiirustuksia käyttäen, riippuen kappaleen muodosta ja sen hetkisestä saatavuudesta.

5.1 Mallinnetut osat

Mahdollisimman todenmukaisien simulointien aikaansaanti vaatii yksityiskohdista mallinnusta jokaiselle kokoonpanoon kuuluvalla osalla. Tällä tavoin luodaan varmuutta FEA-laskennoista saaduille tuloksille.

Liukuporttiympäristöön kuuluvat mallinnukset koostuvat yksittäisistä osista, alikokoonpanoista ja lopullisesta tuotekokoonpanosta. Mallinnustyökaluna käytetty Autodesk Inventor soveltuu hyvin tähän tehtävään sen selkeän ja monipuolisen käyttöjärjestelmän vuoksi.

5.2 Osat ja kokoonpanot

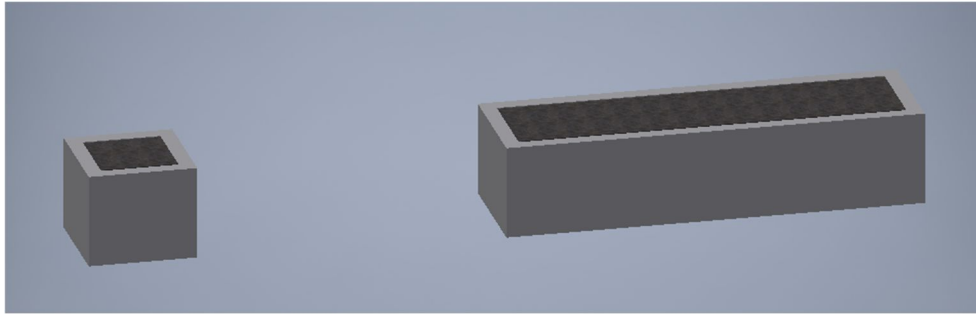
Liukuporttiympäristöön sisältyvät materiaalit mallinnettuina siinä järjestyksessä, kuin ne käytännössä asennettaisiin:

1. Betonianturat (Kuvio 5) koostuvat antureiden ympärille tehdyistä foam-muoteista, sekä niiden sisälle valetusta betonista. Muoteissa käytetty suulakepuristettu foam-muovi on 100 mm vahvaa ja tässä tapauksessa muottien ulkomitat (K x L x S) ovat:

- liukuportin anturalle 700 x 800 x 2700 mm
- liukuportin vasta-anturalle 700 x 700 x 700 mm.

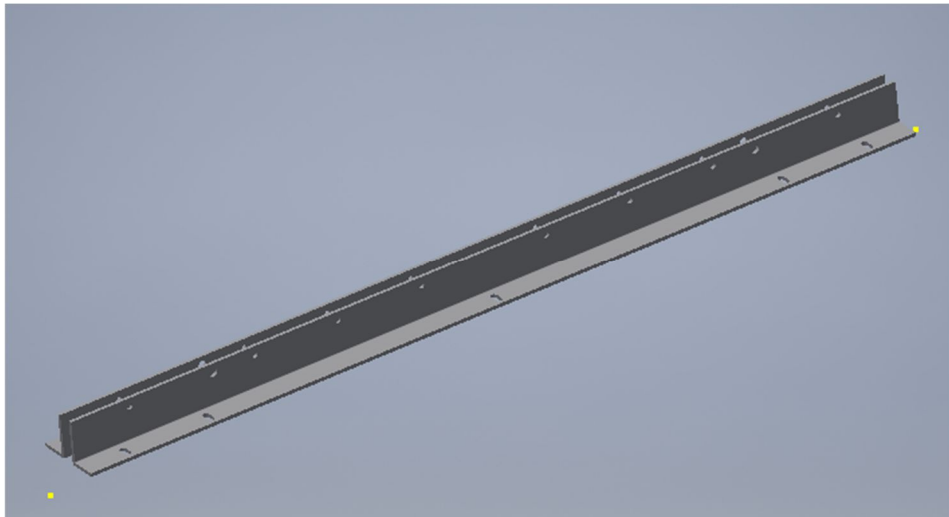
Muottien sisälle valetun betonin mitat (K x L x S) ovat:

- liukuportin anturalle 700 x 600 x 2500 mm
- liukuportin vasta-anturalle 700 x 500 x 500 mm

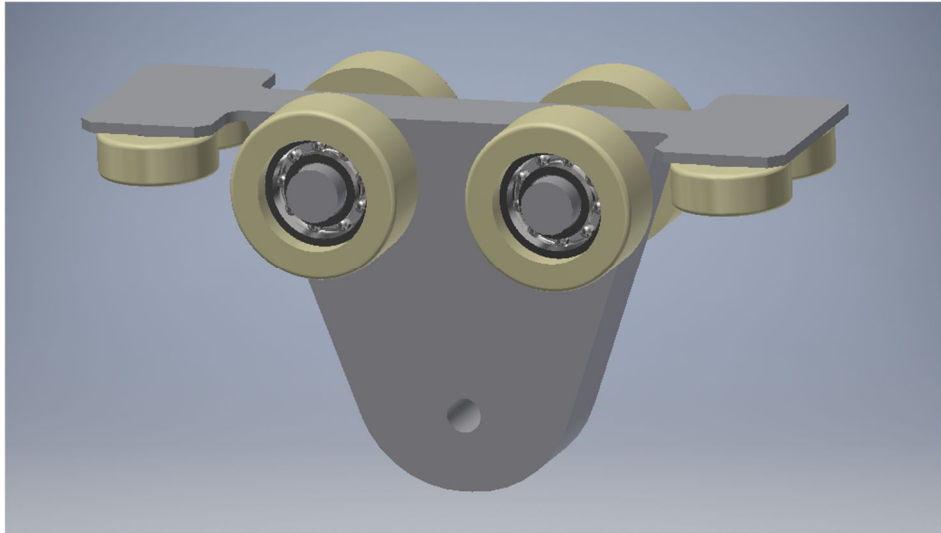


Kuvio 5. Betonianturat (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

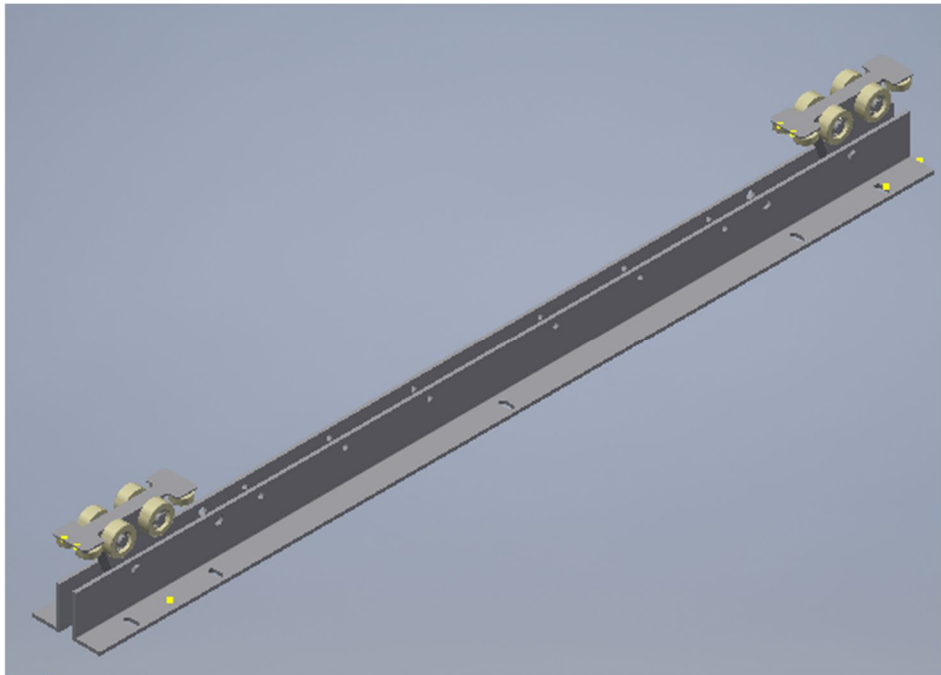
2. Liukuportin rullapukki (Kuvio 8) koostuu kahdesta 8 mm vahvasta kulmaraudasta (Kuvio 6) ja niiden väliin asennetusta kahdesta rullasatulasta (Kuvio 7):
- kulmaraudan vahvuus 8 mm, mitat: 100 x 65 x 1980 mm
 - rullasatula on valmistettu teräksestä, jonka ulommaisten nailonpyörien välinen ulkomitta on 92 mm, jolloin satula mahtuu liukuportin alapalkin sisälle



Kuvio 6. Kulmaraudat (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



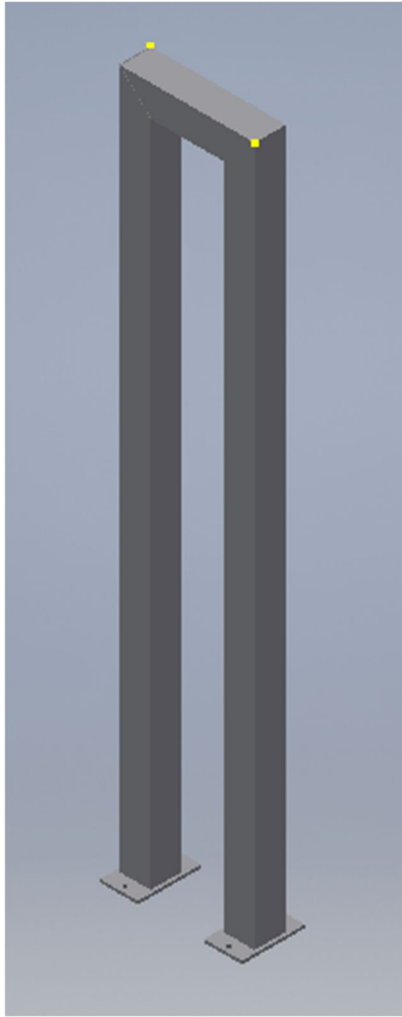
Kuvio 7. Rullasatula (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



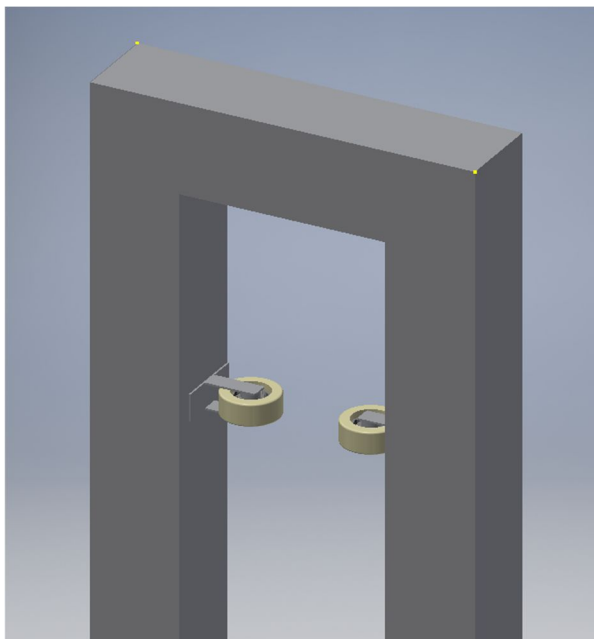
Kuvio 8. Rullapukki (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

3. A-kaari (Kuvio 9) tukee liukuporttia sivuttaissuunnassa. Kaaren yläosassa sisällä olevat nailonpyörät (Kuvio 10) edesauttavat portin edestakaista liikettä. Vastakaari, joka on identtinen A-kaaren kanssa, käytetään myös vastakkaisessa anturassa, jonne liukuportti liikuu mennessä kiinniasentoon.

- A-kaari alumiinia, 430 x 2220 mm, profiili 100 x 100 mm
- nailonpyörän halkaisija 64 mm



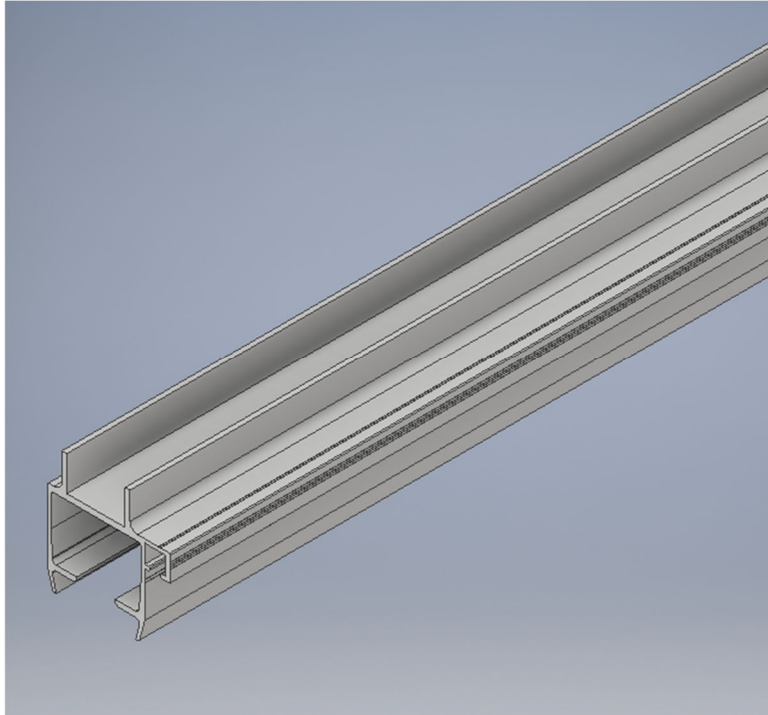
Kuvio 9. A-kaari (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



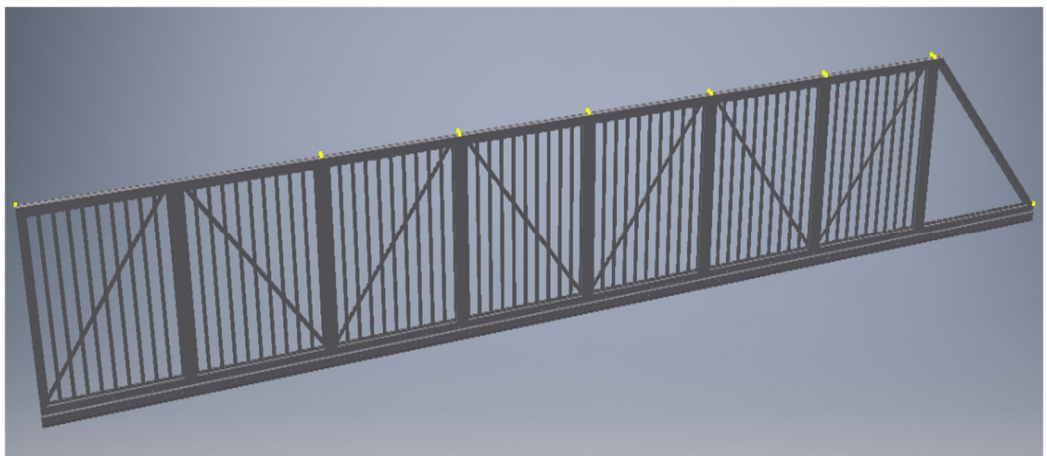
Kuvio 10. Nailonpyörät kiinnitettynä A-kaareen (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

4. Liukuportin alapalkki (Kuvio 11) määrittää liukuportin (Kuvio 12) liikeradan ja sen pituuden. Yhdistämällä edellä mainitut, saadaan aikaan liukuportti kokoonpano (Kuvio 13)

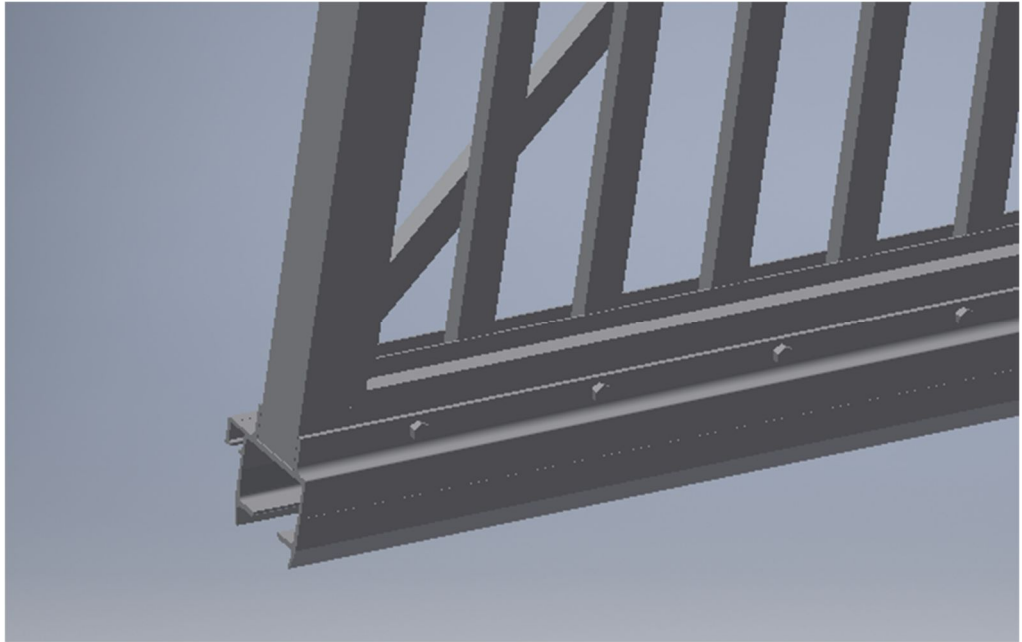
- alapalkki alumiinia, pituus 12500 mm
- liukuportti alumiinia, 60 x 1700 x 12500 mm



Kuvio 11. Osakuva liukuportin alapalkista (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

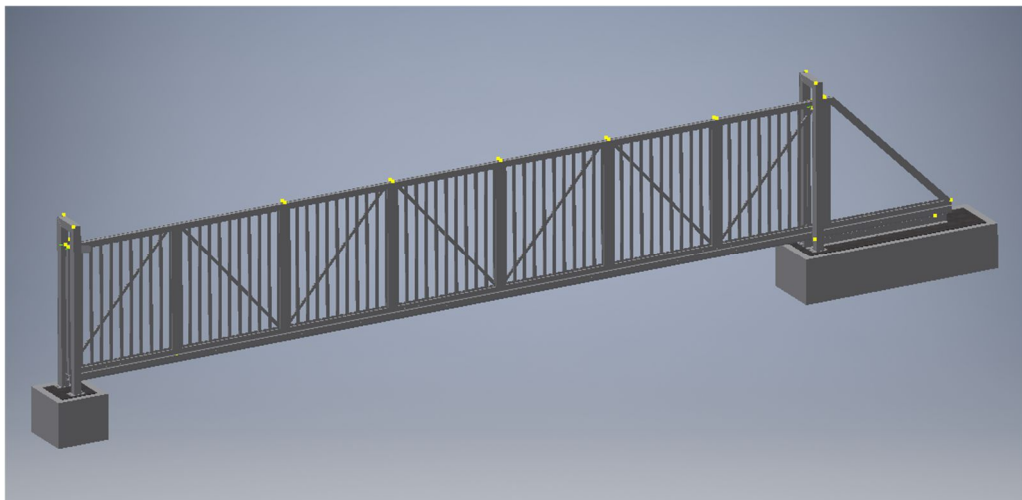


Kuvio 12. Liukuportti (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 13. Lähikuva liukuportti kokoonpanosta (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

5. Käsikäyttöinen liukuporttiympäristö (Kuvio 14) on kokonaisuudessaan valmis, kun vasta-anturan A-kaari on asennettu paikoilleen.



Kuvio 14. Käsikäyttöinen liukuporttiympäristö (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

6 RASITTEIDEN SIMULOINTI

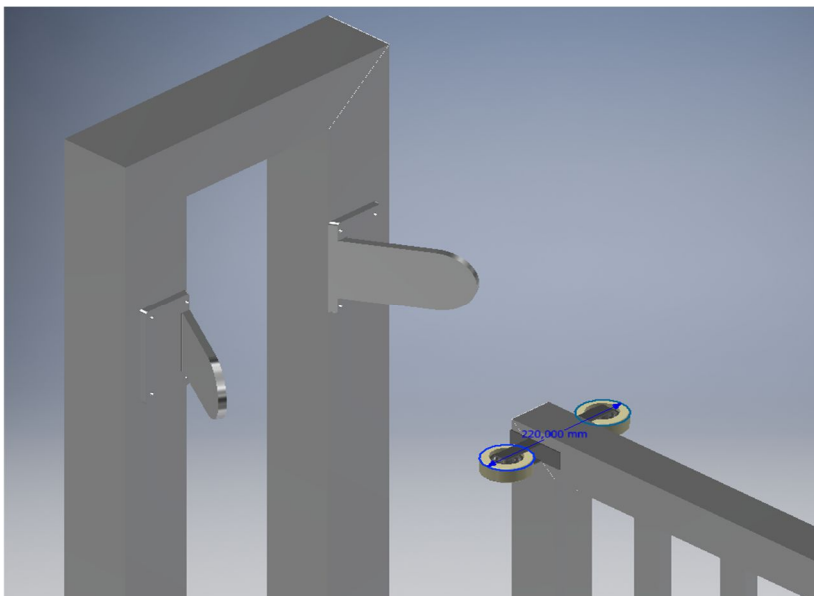
Valmis alumiiniliukuporttikokoonpano antaa valmiudet rasitesimuloinneille, jotka suoritetaan Inventor "Stress Analysis" -toiminnolla. Ohjelman perusideana on luoda liukuportille kuormitusvoimia, jotka vastaavat mahdollisimman pitkälle realistisia tuulivoimia.

Ohjelmassa ei ole valmiiksi tuulivoimaa kuvaavaa kuormitusta, joten voimien luomiseen käytetään useita sivuttaisvoimia, niin että niistä syntyvät kuormitukset osuvat laajalle alueelle tuulivoiman tapaan.

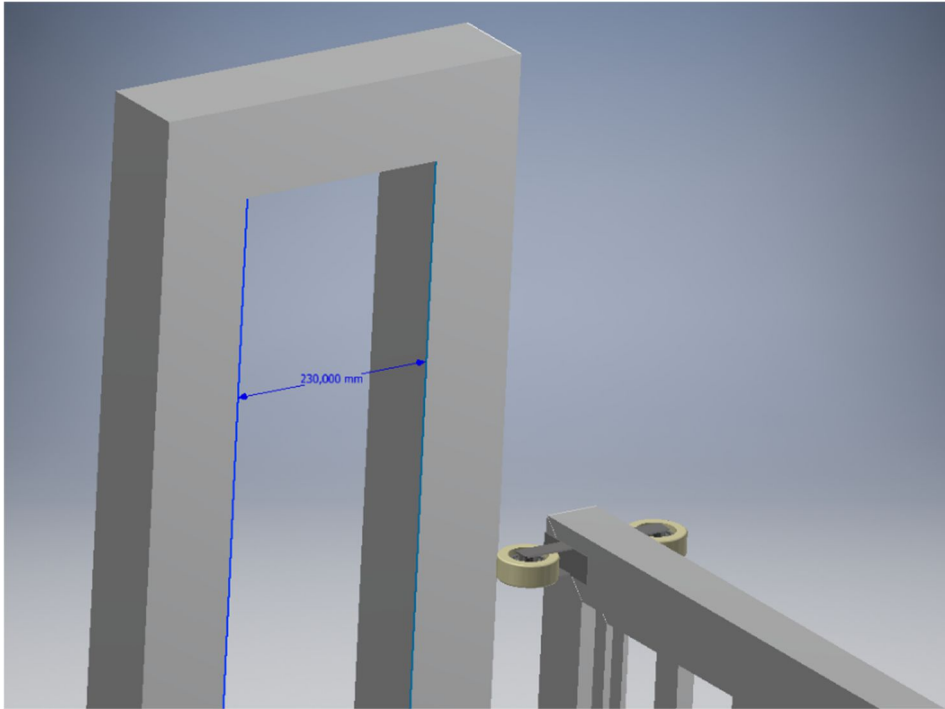
6.1 Simuloinnin tavoitteet

Liukuportille simuloidaan tuulivoimaa kuvaavia voimia, niin että portti altistuu kuormituksille koko pinta-alaltaan. Simuloinnin tavoitteena on nähdä, millaista sivuttaiskuormitusta liukuportti kestää, säilyttäen samalla sen liikeradan toimivuuden liukuessa vastakaaren sisään.

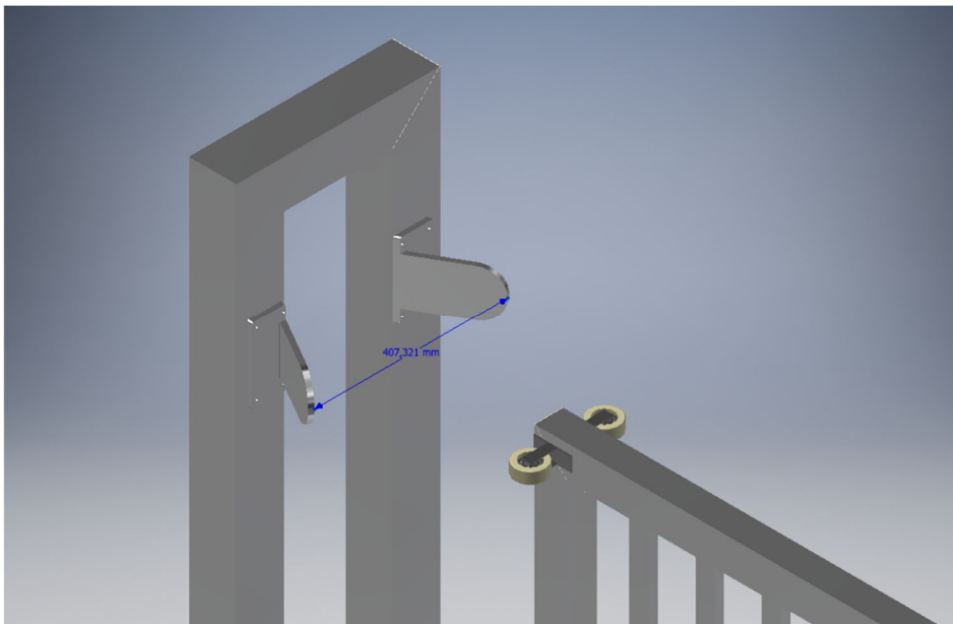
Kuviossa 15 nähdään liukuportin etupäässä olevien rullien ulomainen mitta 220 mm, minkä avulla liukuportti ohjautuu vastakaaren sisään tuulisella säällä. Kuvioissa 16 nähdään vastakaaren sisämitta 230 mm ja kuviossa 17 vastakaareen lisättyjen "hakijoiden" levein sisämitta, noin 410 mm, riippuen mille etäisyydelle hakijat toisistaan asennetaan.



Kuvio 15. Liukuportin keularullien ulkomitta (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 16. Vastakaaren sisämitta (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 17. Vastakaaren "hakijoiden" suurin sisämitta (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

Edellä mainituista mitoista ja niitä selkeyttävistä kuviosta voidaan nähdä, että liukuportin ollessa lähes kiinniasennossaan on sen suurin sivuttaisliikkumavara ilman hakijoita noin 5 mm suuntaansa, jotta se pääsisi vastakaaren sisään ongelmitta.

Liukuportin pyörien tarkoituksena on lukita portti vastakaaren sisään ehkäisemällä sivuttaisliike, jolloin niiden poistaminen sivuttaissuuntaisen tilan lisäämiseksi ei ole suotavaa. Parempi vaihtoehto on asentaa vastakaaren keulaan ”hakijat”, joilla liukuportti saadaan ohjattua kaaren sisään.

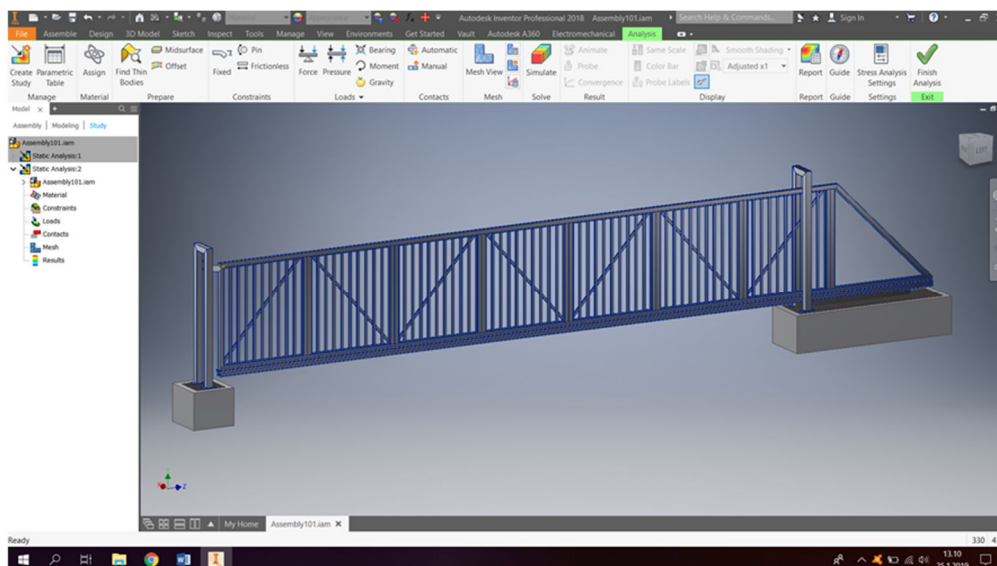
Hakijoita on useamman kokoisia ja niiden avulla portti saadaan ajettua kiinniasentoonsa sen sivuttaisliikkeestä huolimatta. Riippuen liukuportin pituudesta ja siihen kohdistuvasta tuulikuormasta, voidaan hakijoiden koko valita tarpeen mukaan. Hakijoiden koon valinnassa täytyy kuitenkin ottaa huomioon niiden vaatima tila, mikä pienentää liukuportin ajoaukon leveyttä.

Simulointeja suorittaessa käytetään vakio koon hakijoita, joiden myötä sivuttaispoikkeaman raja-arvo saadaan nostettua noin 90 mm:iin suuntaansa.

6.2 FEA-laskenta

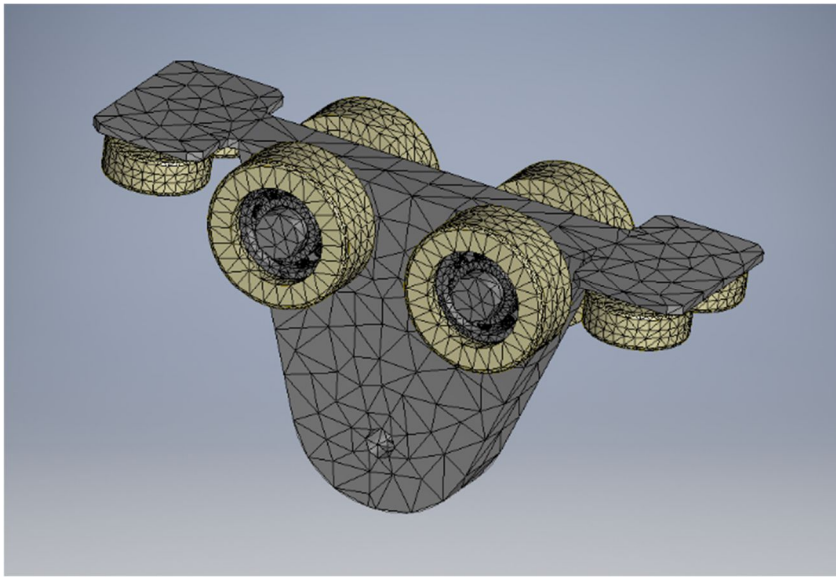
Aloittaessaan uutta analyysia, lataa käyttäjä piirtämänsä osan tai kokoonpanon, jota haluaa tutkia. Tämän jälkeen ylävalikosta valitaan ”Environmets”-välilehti, jonka jälkeen valitaan ”Stress Analysis”-toiminto. Tämä aukaisee käyttöikkunan analyysin suorittamiselle.

Inventor-kuormitussimulointi ”Stress Analysis” (Kuvio 18), perustuu FEA-laskentaan. Tällä toiminnolla saadaan selvyyttä käyttäjän piirtämän kappaleen tai kokoonpanon mekaanisista ominaisuuksista sen altistuessa kuormituksille.



Kuvio 18. Inventor ”Stress Analysis” -käyttöikkuna

FEA eli Finite Element Analysis simuloi sille annettuja rasitteita teknisen laskennan avulla. Tällä tavoin voidaan luoda parempia tuotteita nopeammin, vähemmillä käytännön kokeilla. Ohjelman sydän on "mesh"-toiminto, mikä pilkkoo kappaleen pieneksi elementtiverkostoksi (Kuvio 19), jolle kone laskee käyttäjän antaman kuormituksen vaikutuksen millimetrin tuhannesosan tarkkuudella. Tämä piirtyy tietokoneen ruutuun erilaisina arvoina ja kaavoina, mutta ennen kaikkea visuaalisena kuvana, mikä antaa tulokselle selkeyttä. (Simscale 2019.)



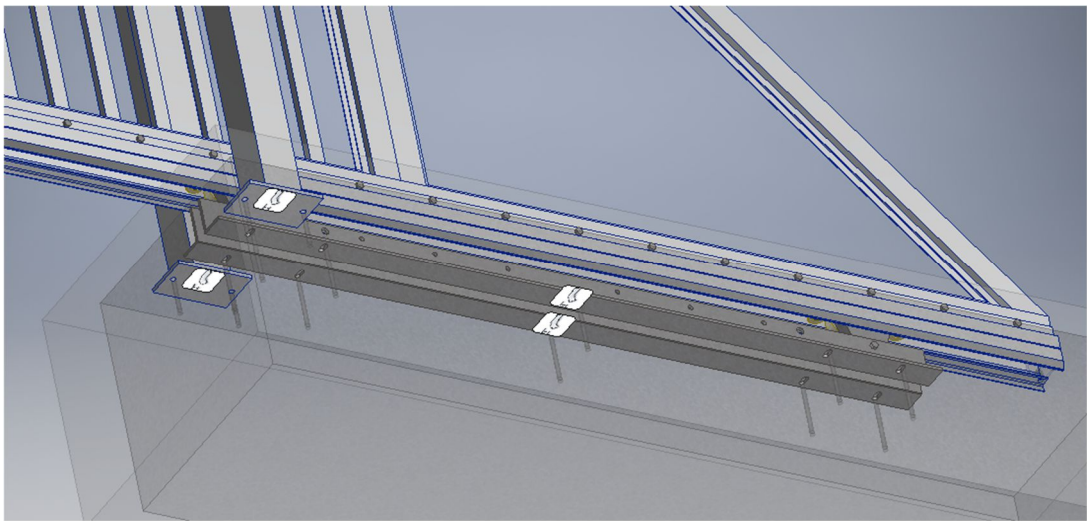
Kuvio 19. Rullasatula "mesh"-verkostona (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

6.3 Simuloinnin pohjustus

Monimutkaisten FEA-simulointien laskenta vaatii tietokoneelta suorituskapasiteettia, joten ensimmäisenä on tärkeää miettiä, mitä kokoonpanossa halutaan simuloida. Pulttien, muttereiden, sekä muiden kiinnikkeiden oletetaan kestävän tuulivoimien kuormitukset, joten ne voidaan jättää simuloinnista pois. Näin teemmällä saadaan simuloinnin suoritukseen menevä aika huomattavasti lyhyemmäksi.

Tässä tapauksessa simuloidaan ainoastaan itse liukuportti ja siinä kiinni oleva rullapukki rullastoineen sekä A-kaari. Simuloinnista pois jää liukuportin anturi kiinnikkeineen sekä vastapuolen kokoonpano, mihin kuuluu vastakaari kokonaisuudessaan kiinnitettynä anturaan, sekä niiden yhdistävät kiinnikkeet.

Yksi analyysin tärkeimmistä toiminnoista on simuloitavan kohteen, tässä tapauksessa liukuportin kiinnitys. Kiinnityksen täytyy vastata sen luonnossa olevaa kiinnitystapaa. Ilman tätä, ei kokoonpanolle annetuilla kuormituksilla ole minkäänlaista vaikutusta. Liukuportin tuenta varmistuu A-kaaren sekä rullapukin pohjasta, mikä kuvastaa niiden kiinnitystä betonianturaan luonnossa. Kuviossa 20 nähdään liukuportin tuennan kiinnitykset, sekä simuloinnin laskennoista pois jätetyt kappaleet, jotka piirtyvät kuvioon läpinäkyvinä.



Kuvio 20. Liukuportin tuennan kiinnitykset pohjasta katsottuna (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

6.4 Tuulivoiman simulointi

Tuulivoimaa voidaan ajatella dynaamisena paineena sen osuessa johonkin pinta-alaan. Pysähtyessään tämä paine muuntuu eteenpäin pyrkiväksi työntövoimaksi, jonka voima ilmaistaan Newtonina. Mahdollisimman realistisen simuloinnin aikaansaamiseksi täytyy liukuportin pinta-alaan kohdistuva painevoima muuntaa työntövoimaksi ja jakaa se tasaisesti joka puolelle liukuportin rakenteisiin. Tällä tavoin saadaan simuloitua voima, joka tuulen tapaan kohdistuu tasaisella sivuttaiskuormituksella liukuportin kyljen koko pinta-alaan, mikä on mallinnettu kuviossa 21.

Luonnollisesti painovoima vaikuttaa omalla kuormituksellaan porttiin, mikä näkyy niin ikään kuviossa 21 alaspäin suuntaavana nuolena. Painovoima käyttäytyy $9,81 \text{ m/s}^2$ kiihtyvyydellä, mikä näkyy liukuportin omasta massasta aiheutuvalla

vertikaalisella muodonmuutoksella. Muutos kertaantuu sen mukaan, mitä pidemmällä liukuportin keula on rullapukista katsottuna.

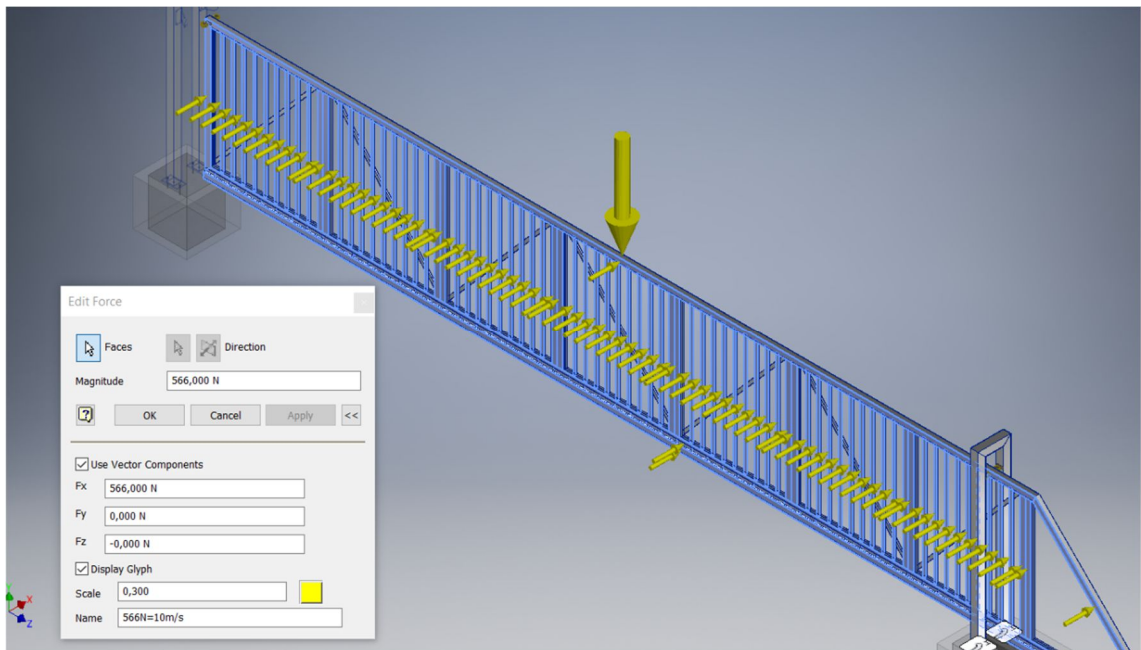
Painovoiman vaikutuksiin ei kuitenkaan kiinnitetä simuloinneissa sen enempää huomiota, vaan annetaan sen vaikuttaa laskennoissa luonnollisena tekijänä yhteistyössä tuulikuormitusten kanssa.

Tuulikuormitusten oletetaan kohdistuvan kohtisuoraan liukuportin kylkeä vasten, jolloin avoimen kehysrakenteen omaavan portin pinta-ala lasketaan liukuportin jommastakummasta kyljestä, mikä on 9,06 m². Tämä helpottaa simuloinnin suorittamista porttiin kohdistuvien voimien luonnissa ja lisäksi antaa ääri tulokset, kun tarkastellaan liukuportin muodonmuutosta.

Painovoiman muuttaminen työntövoimaksi tapahtuu kaavan (2) avulla, jolloin esimerkiksi 10 m/s puhaltava tuuli ilmantiheyden ollessa 1,25 Kg/m³, mikä vastaa noin +9 °C lämpötilaa, vaikuttaa liukuportin kylkeen, aiheuttaen 62,5 Pa dynaamisen paineen. Painevoima muutetaan tuulivoimaa kuvaavaksi työntövoimaksi, jolloin:

$$N = Pa * A \quad (5)$$

saadaan työntövoimaksi 566 N, liukuportin A ollessa 9,06 m².



Kuvio 21. Tuuli- ja painovoimaa kuvaavien kuormitusten määrittäminen liukuportille (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

7 FEA-TULOKSET

Tuulikuormitusten simulointi liukuporttiin tapahtuu sen liikeradan neljässä eri vaiheessa: portin ollessa 25 %, 50 %, 75 %, sekä 95 % kiinni, jolloin portin asema on juuri ennen kiinniasentoon. Näistä oleellisin ja liukuportin fyysisiä ääriarvoja tarkastellessa on vaihe, jossa portti on juuri ennen kiinniasentoaan, eli 95 % kiinni. Tässä kohtaa portti on eniten alttiina tuulikuormituksille. Simuloinneista saadut sivuttaispoikkeama-arvot muissa asemissa selkeyttävät portin käyttäytymistä liikeradan kokonaisuutta tarkasteltaessa.

Tuloksia tarkastellaan eri suuruksilla kuormituksilla, jotka vastaisivat mahdollisimman paljon luonnossa olevia tuulivoimia. Luonnollisesti maksimiarvojen saamiseksi, kuormat luodaan tuulen todellisella voimalla. Tämä tarkoittaa tuulta, joka vaikuttaa avoimen meren äärellä olevalla rannikkoalueella maastoluokan 0 mukaisesti. Näiden elementtien avulla voidaan päätellä liukuportin toimintakyky eri tuulen voimakkuuksilla.

7.1 Tuulen nopeus 5 m/s

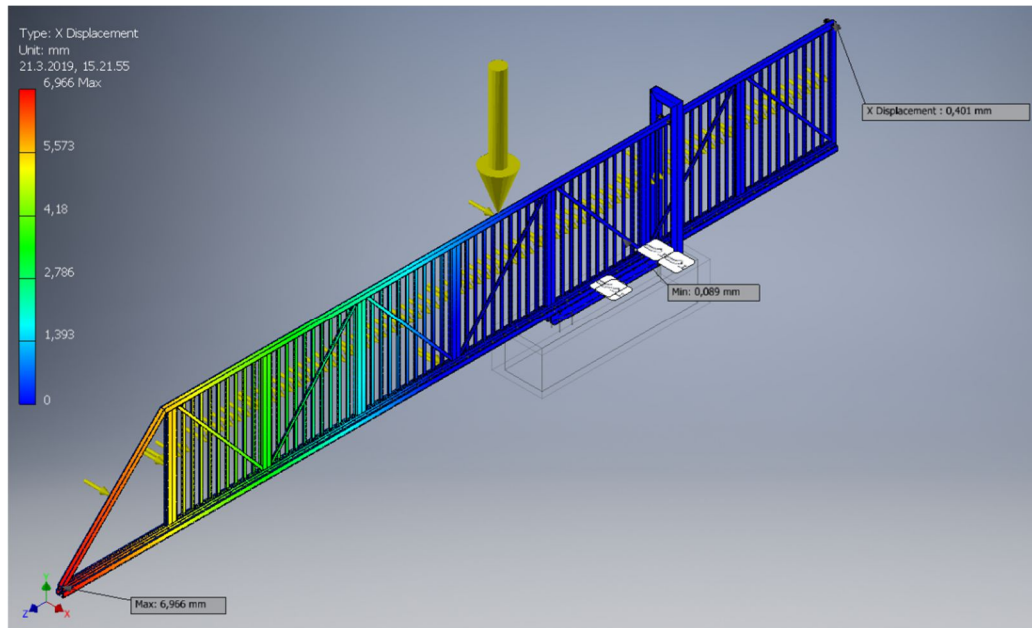
Liukuportin kokonaispinta-alaan 5 m/s vaikuttava tuuli vastaa 142 N:in voimaa. Tuulen vaikutus näkyy suurimmaksi osaksi liukuportin peräpäässä portin ollessa 25 % kiinni. Keulan siirtymä kyseisessä portin asemassa on < 1 mm. Portin pienin siirtymä tapahtuu aina kohdassa, jossa portin alaprofiili vastaa rullapukkia (Kuvio 22).

Portin aseman ollessa 50 % kiinni on sivuttaispoikkeaman maksimiarvo portin keulassa, jolloin poikkeama on noin 3 mm (Kuvio 23).

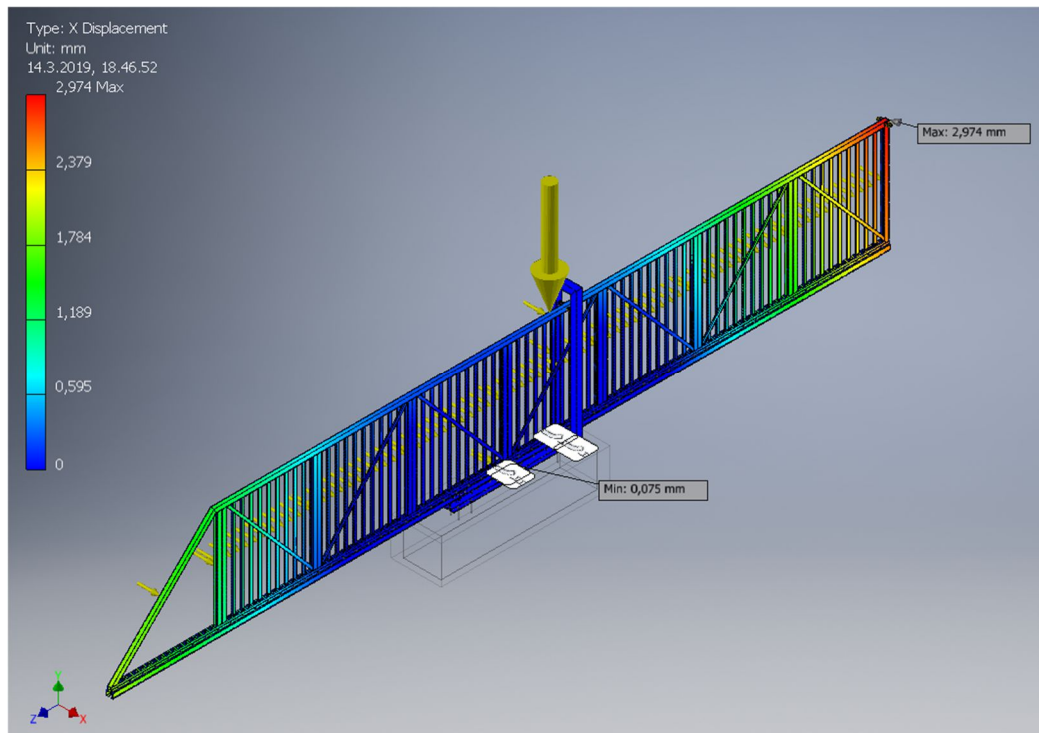
Portin aseman ollessa 75 % kiinni, painottuu maksimirasitus selvästi liukuportin keulaan, jolloin taipuma on noin 8 mm (Kuvio 24). Portin aseman ollessa 95 % kiinni on poikkeama noin 15 mm, jolloin tuulesta aiheutuva sivuttaispoikkeama on suurimmillaan (Kuvio 25).

Kuviosta 26 nähdään portin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni. Sivuttaispoikkeama on hyvin pientä, mikä ei aiheuta ongelmaa portille sen kiinniasentoon pääsyssä. Kuvion 27 käyrästä nähdään

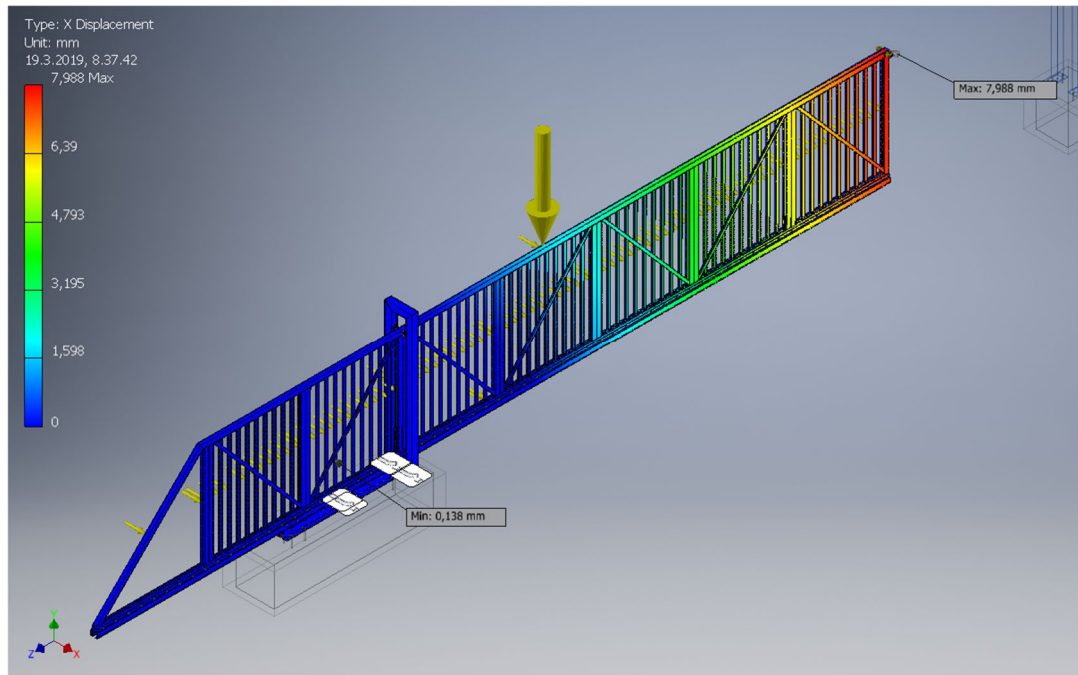
portin keulan taipuma suhteessa sen asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 5 m/s.



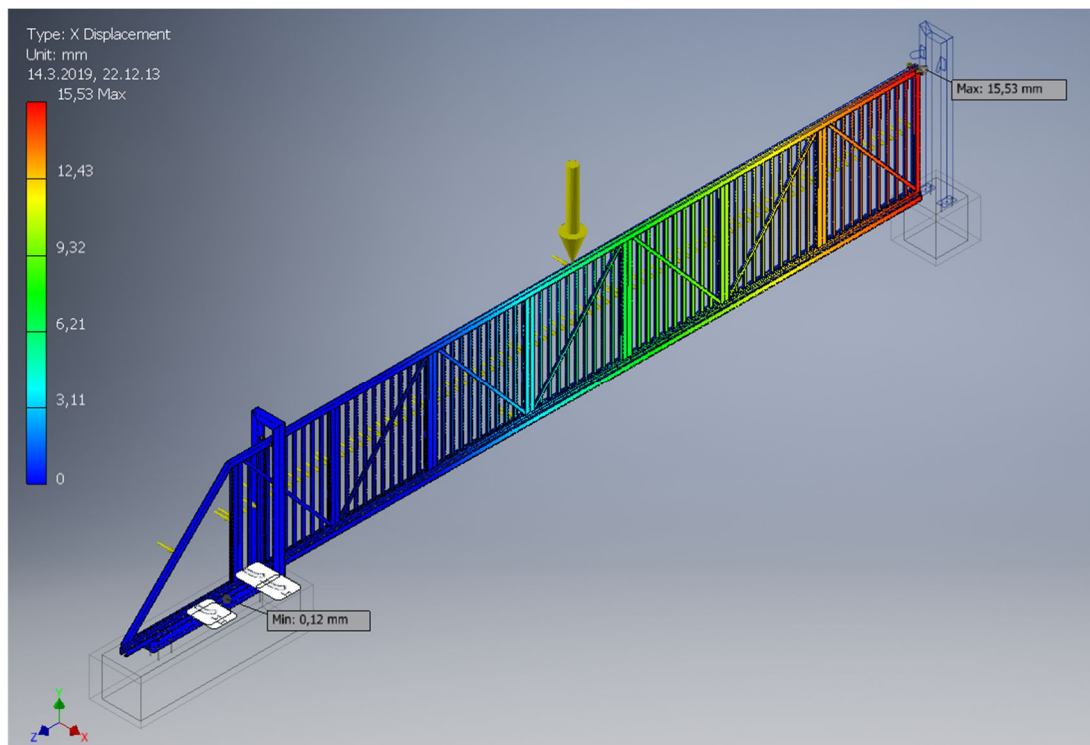
Kuvio 22. Yleiskuva 5 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 25 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



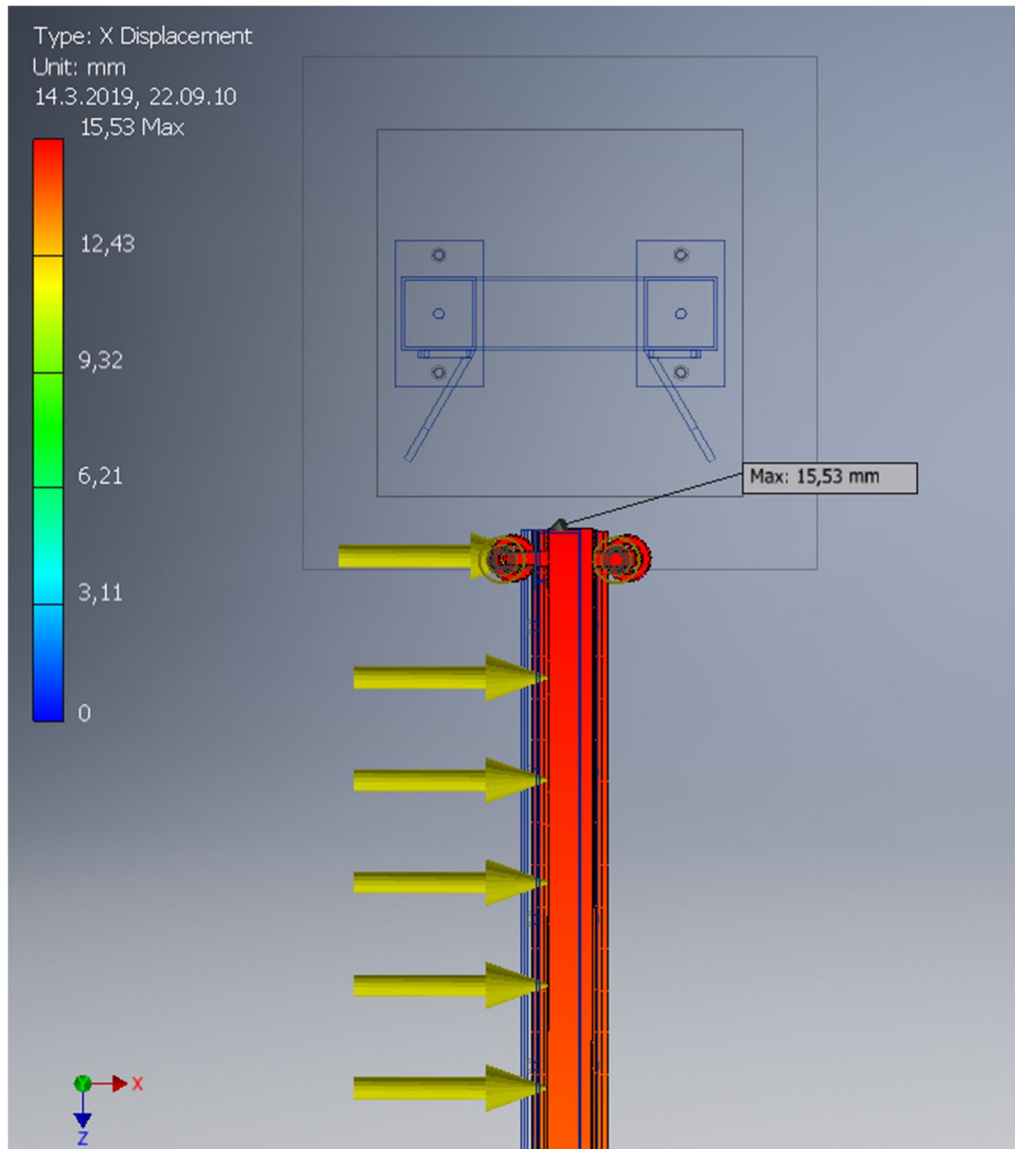
Kuvio 23. Yleiskuva 5 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 50 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 24. Yleiskuva 5 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 75 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 25. Yleiskuva 5 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 26. Tuulen nopeus 5 m/s. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama ylhäältä kuvattuna suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 27. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa portin asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 5 m/s

7.2 Tuulen nopeus 10 m/s

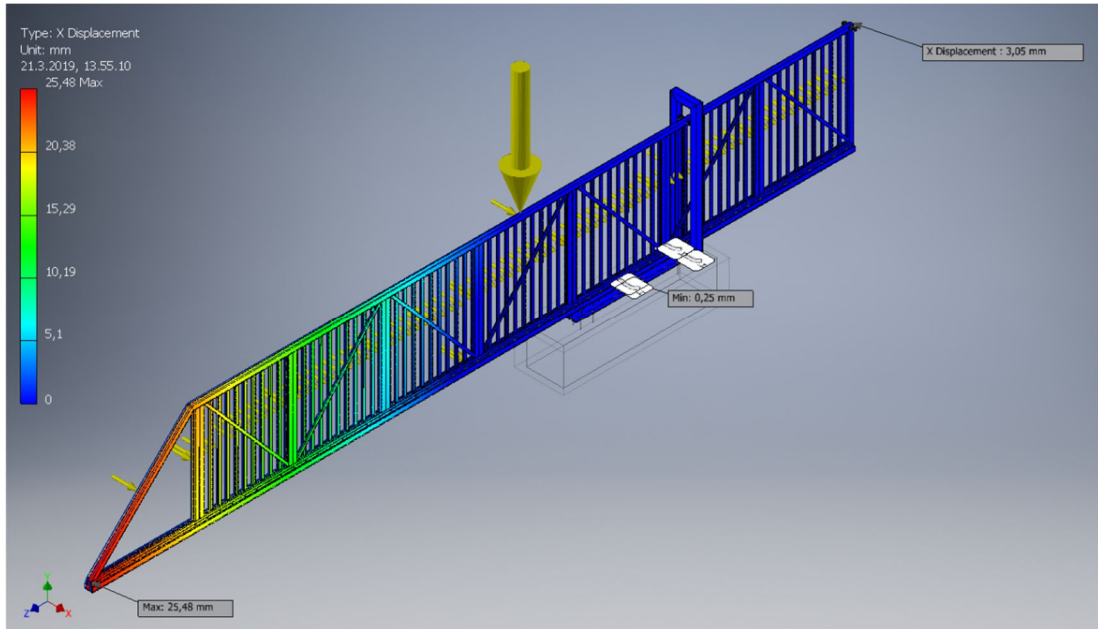
Liukuportin kokonaispinta-alaan 10 m/s vaikuttava tuuli vastaa 566 N:in voimaa. Tuulen vaikutus näkyy suurimmaksi osaksi liukuportin peräpäässä portin ollessa 25 % kiinni. Keulan siirtymä kyseisessä portin asemassa on noin 3 mm. Portin pienin siirtymä tapahtuu aina kohdassa, jossa portin alaprofiili vastaa rullapukkia (Kuvio 28).

Portin aseman ollessa 50 % kiinni on sivuttaispoikkeaman maksimiarvo portin keulassa, jolloin poikkeama on noin 13 mm (Kuvio 29).

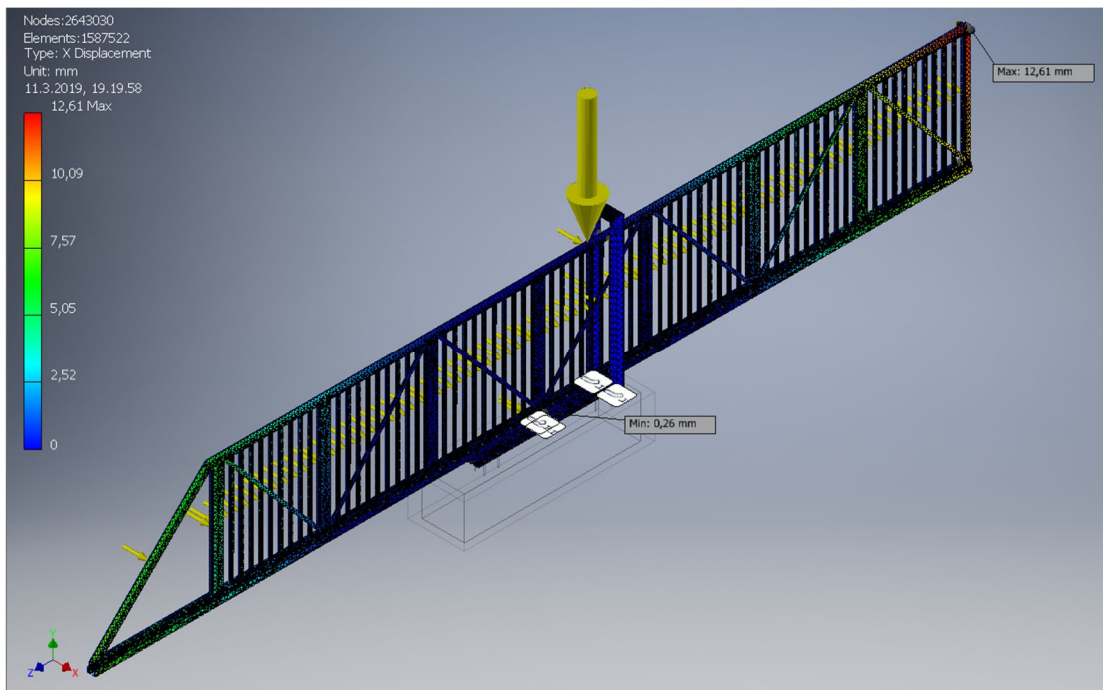
Portin aseman ollessa 75 % kiinni, painottuu maksimirasitus selvästi liukuportin keulaan, jolloin taipuma on noin 31 mm (Kuvio 30). Portin aseman ollessa 95 % kiinni on poikkeama noin 66 mm, jolloin tuulesta aiheutuva sivuttaispoikkeama on suurimmillaan (Kuvio 31).

Kuviosta 32 nähdään portin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni. Sivuttaispoikkeama on selkeää, mutta portin toimintakyky säilyy standardi mallin hakijoilla, jolloin portti pääsee liukumaan ongelmitta

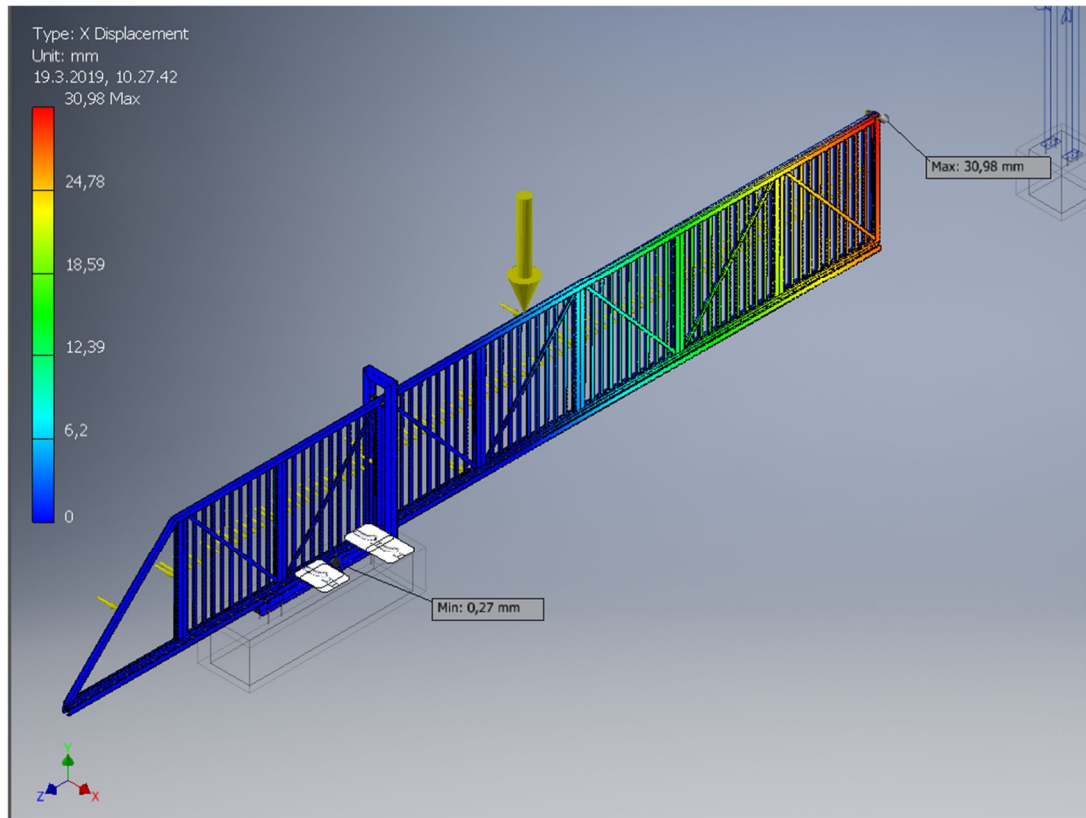
vastakaaren sisään. Kuvion 33 käyrästöstä nähdään portin keulan taipuma suhteessa sen asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 10 m/s.



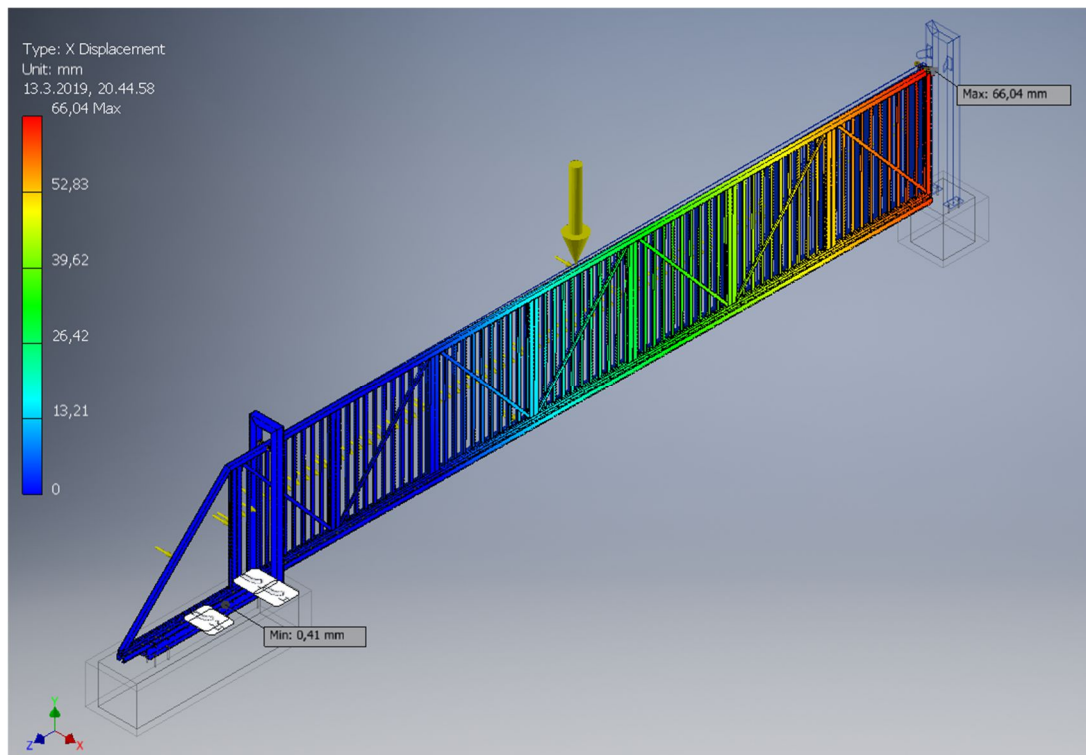
Kuvio 28. Yleiskuva 10 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 25 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



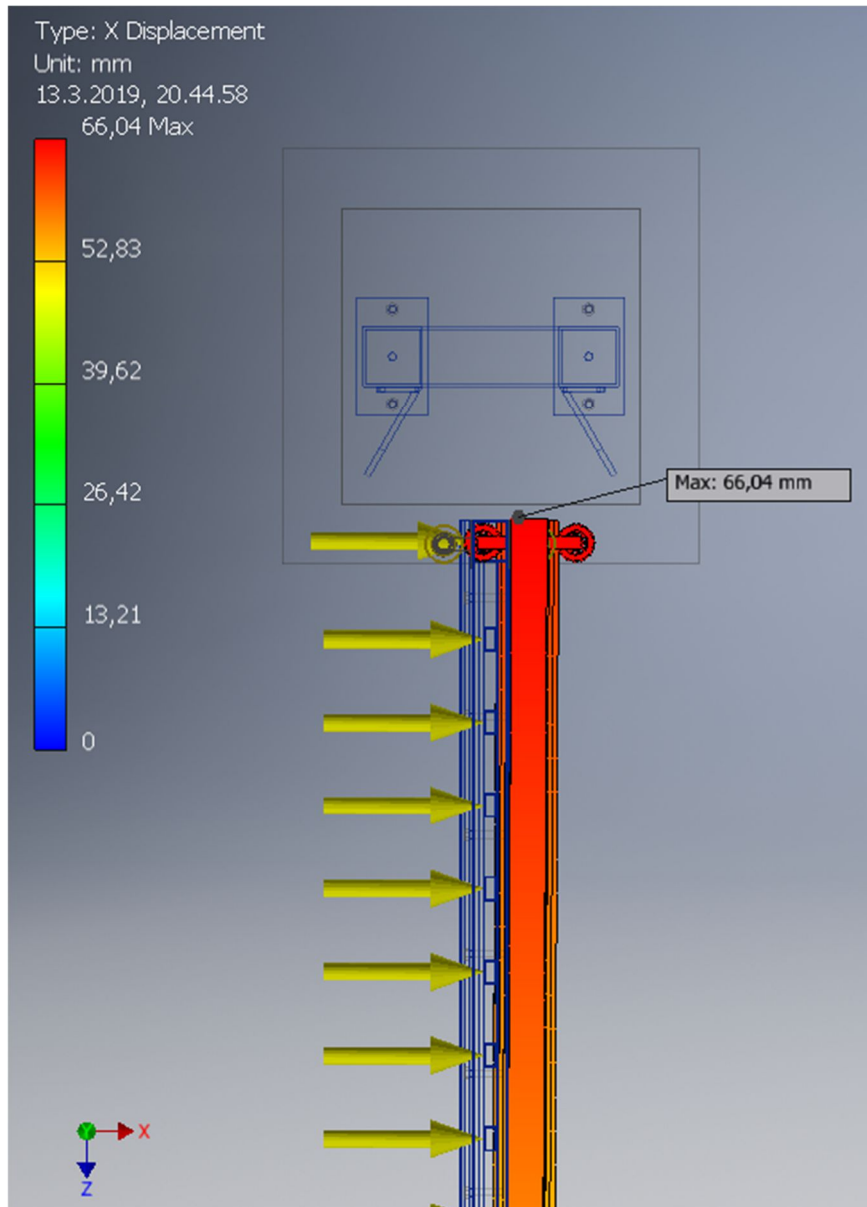
Kuvio 29. Yleiskuva 10 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 50 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



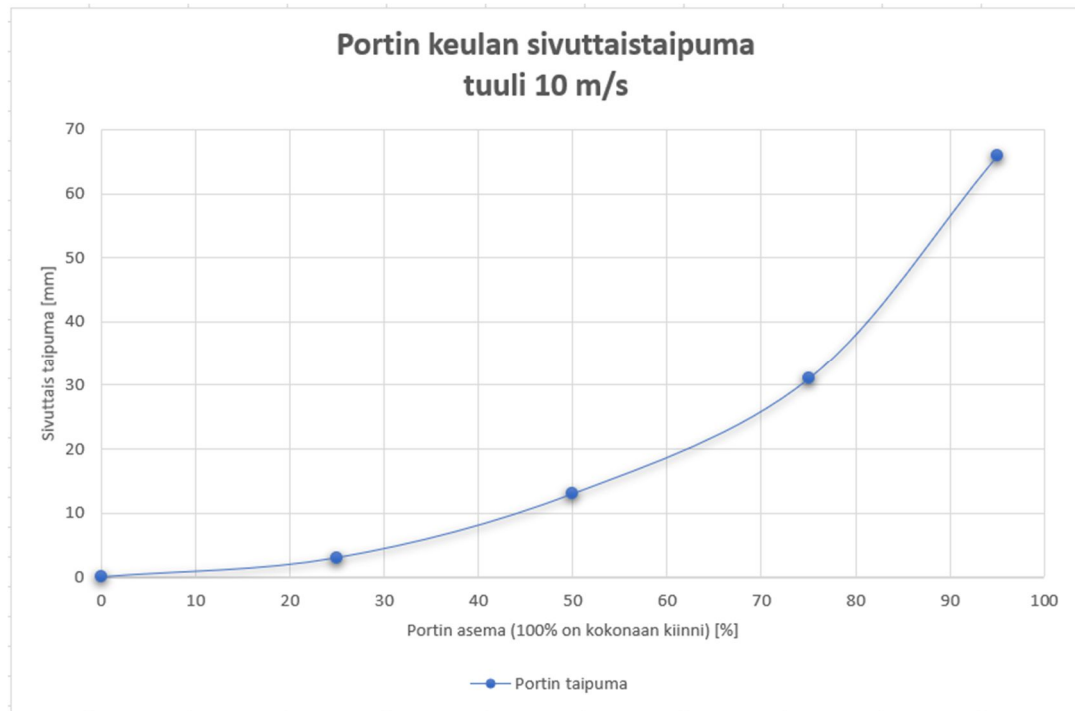
Kuvio 30. Yleiskuva 10 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 75 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 31. Yleiskuva 10 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 32. Tuulen nopeus 10 m/s. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama ylhäältä kuvattuna suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 33. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa portin asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 10 m/s

7.3 Tuulen nopeus 15 m/s

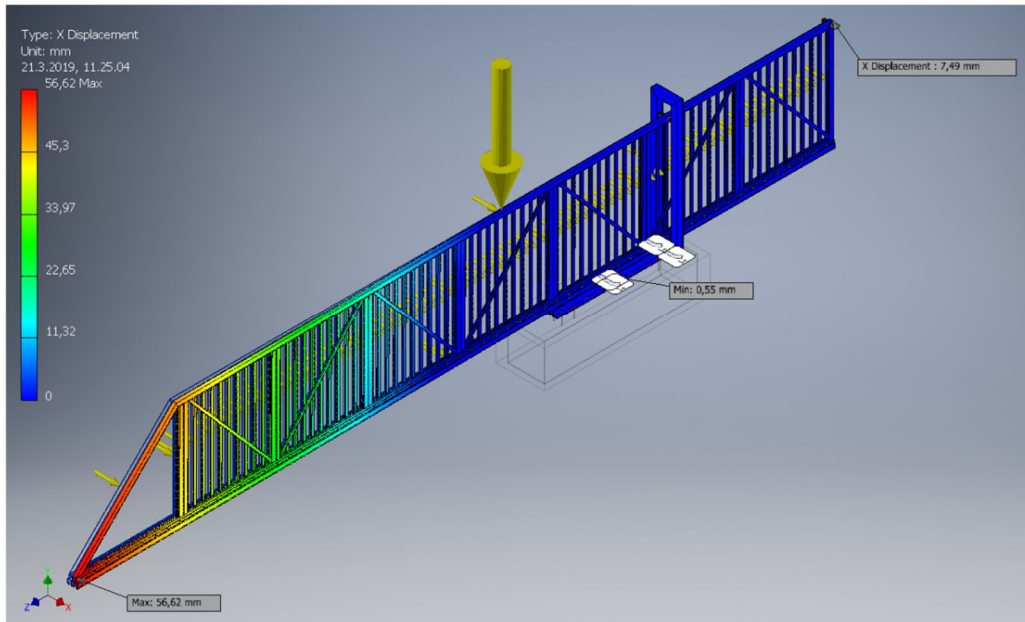
Liukuportin kokonaispinta-alaan 15 m/s vaikuttava tuuli vastaa 1274 N:in voimaa. Tuulen vaikutus näkyy suurimmaksi osaksi liukuportin peräpäässä portin ollessa 25 % kiinni. Keulan siirtymä kyseisessä portin asemassa on noin 7 mm. Portin pienin siirtymä tapahtuu aina kohdassa, jossa portin alaprofiili vastaa rullapukkia (Kuvio 34).

Portin aseman ollessa 50 % kiinni on sivuttaispoikkeaman maksimiarvo portin keulassa, jolloin poikkeama on noin 29 mm (Kuvio 35).

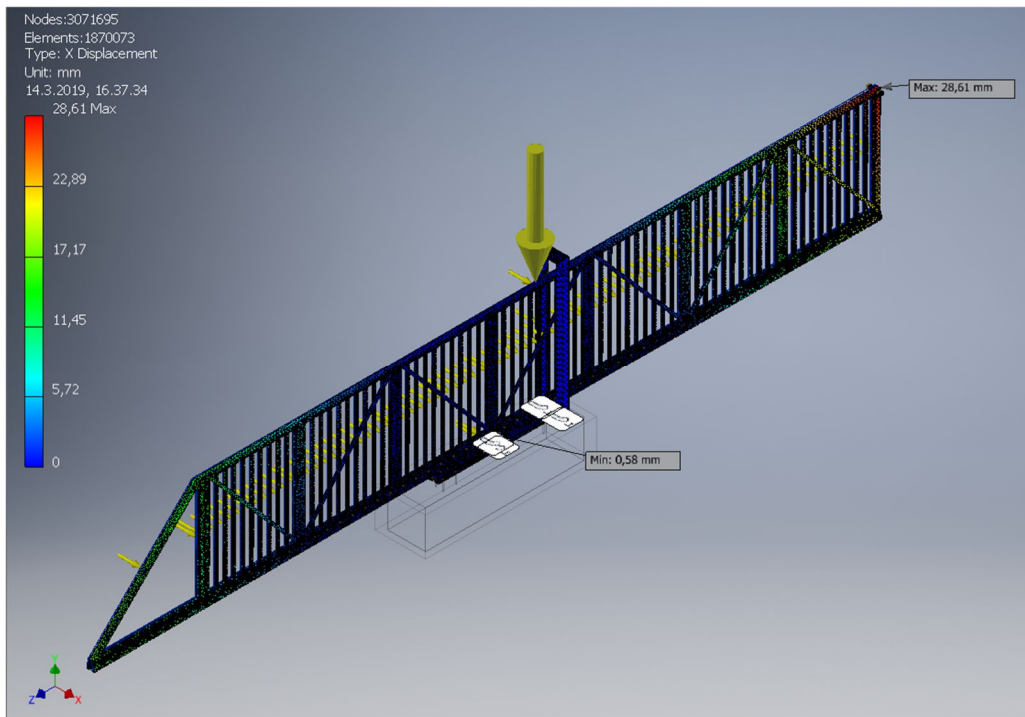
Portin aseman ollessa 75 % kiinni, painottuu maksimirasitus selvästi liukuportin keulaan, jolloin taipuma on noin 69 mm (Kuvio 36). Portin aseman ollessa 95 % kiinni on poikkeama noin 149 mm, jolloin tuulesta aiheutuva sivuttaispoikkeama on suurimmillaan (Kuvio 37).

Kuviosta 38 nähdään portin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni. Sivuttaispoikkeama on hyvin selkeää ja edellä mainitusta kuviosta nähdään, että standardi mallin hakijat eivät enää varmista portin

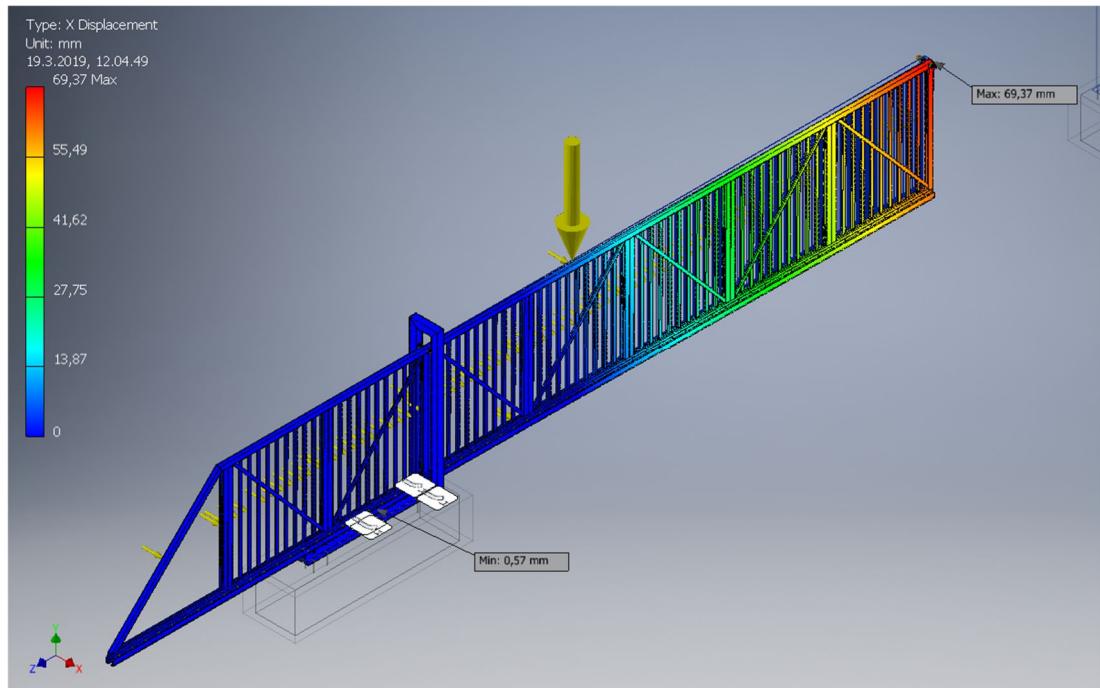
pääsyä vastakaaren sisään, jolloin kaareen joudutaan asentamaan pidemmät hakijat. Tällä tavoin saadaan portille enemmän tilaa sivuttaissuuntaisessa liikkeessä. Kuvion 39 käyrästä nähdään portin keulan taipuma suhteessa sen asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 15 m/s.



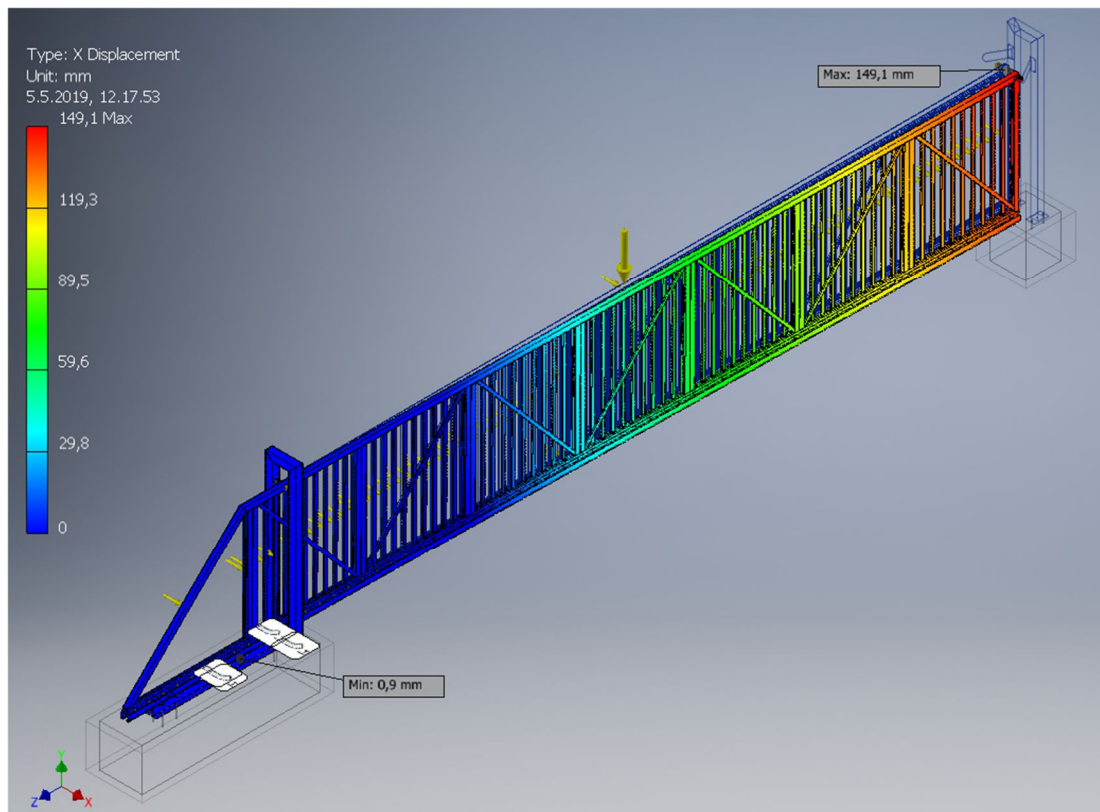
Kuvio 34. Yleiskuva 15 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 25 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



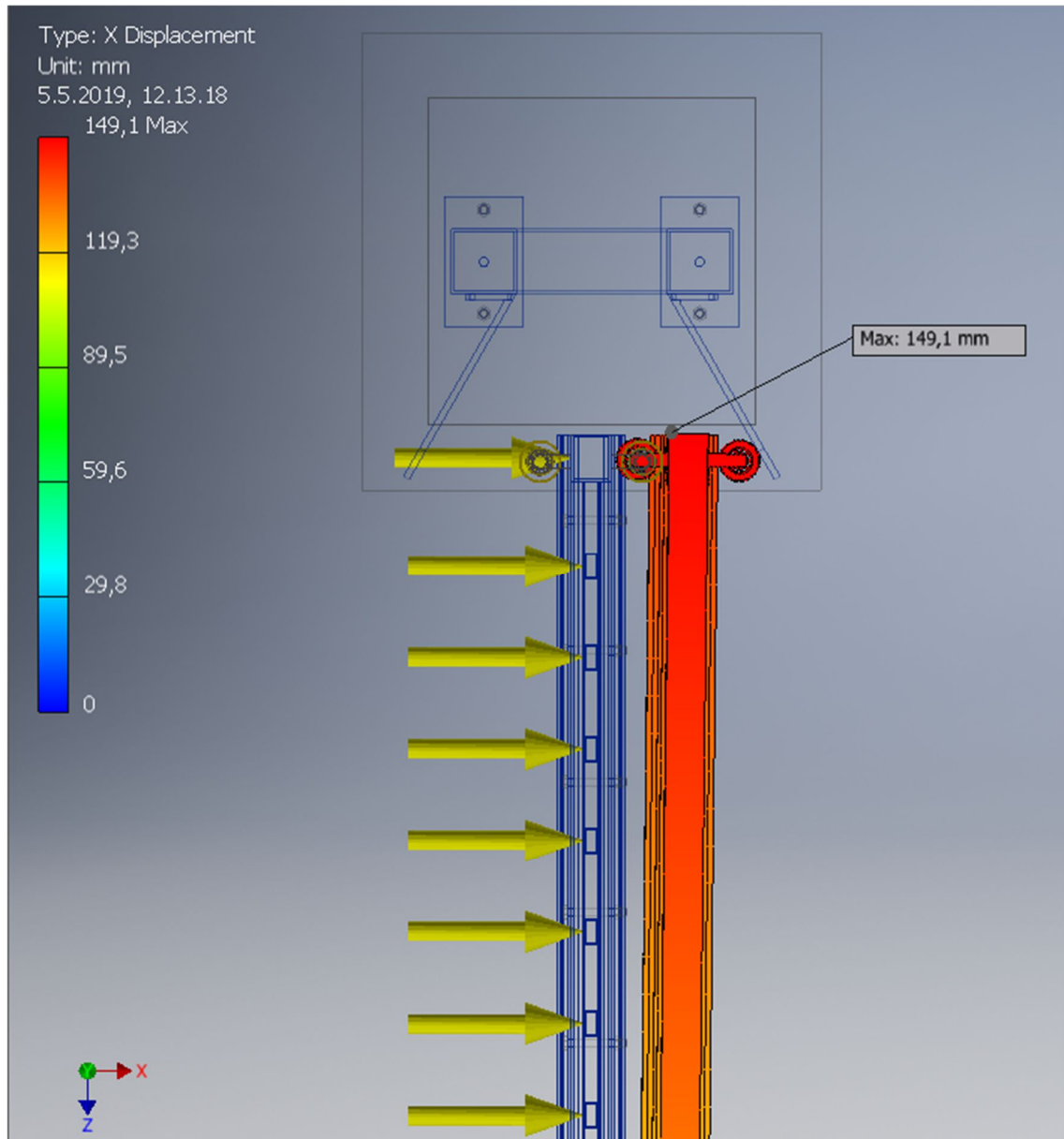
Kuvio 35. Yleiskuva 15 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 50 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



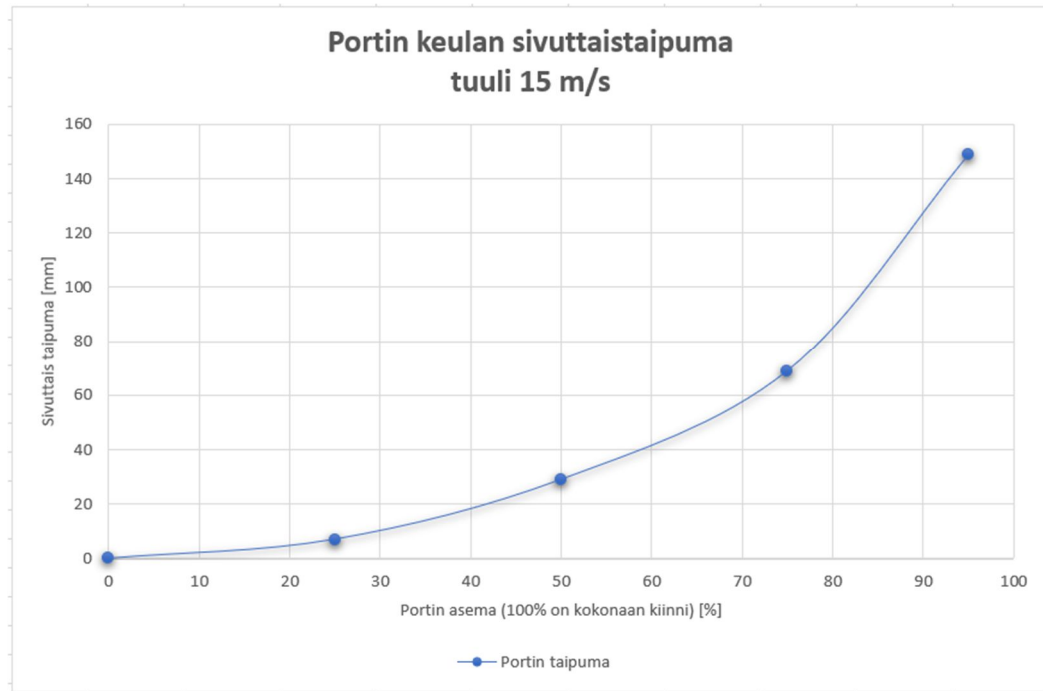
Kuvio 36. Yleiskuva 15 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 75 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 37. Yleiskuva 15 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 38. Tuulen nopeus 15 m/s. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama ylhäältä kuvattuna suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 39. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa portin asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 15 m/s

7.4 Tuulen nopeus 20 m/s

Liukuportin kokonaispinta-alaan 20 m/s vaikuttava tuuli vastaa 2265 N:in voimaa. Tuulen vaikutus näkyy suurimmaksi osaksi liukuportin peräpäässä, portin ollessa 25 % kiinni. Keulan siirtymä kyseisessä portin asemassa on noin 14 mm. Portin pienin siirtymä tapahtuu aina kohdassa, jossa portin alaprofiili vastaa rullapukkia (Kuvio 40).

Portin aseman ollessa 50 % kiinni on sivuttaispoikkeaman maksimiarvo portin keulassa, jolloin poikkeama on noin 52 mm (Kuvio 41).

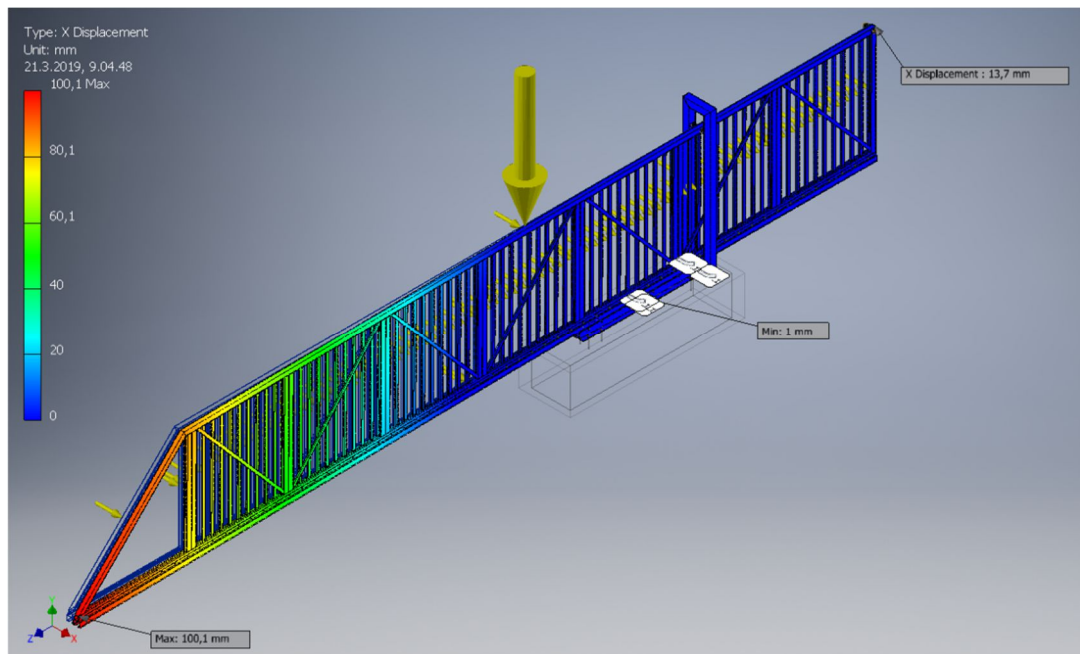
Portin aseman ollessa 75 % kiinni, painottuu maksimirasitus selvästi liukuportin keulaan, jolloin taipuma on noin 123 mm (Kuvio 42). Portin aseman ollessa 95 % kiinni on tuulesta aiheutuva sivuttaispoikkeama suurimmillaan (Kuvio 43).

Kuviosta 44 nähdään portin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni. Sivuttaispoikkeama on todella selkeää ja edellä mainitusta kuviosta nähdään, että standardi mallin hakijat eivät enää varmista portin pääsyä vastakaaren sisään, jolloin kaareen joudutaan asentamaan pidemmät ha-

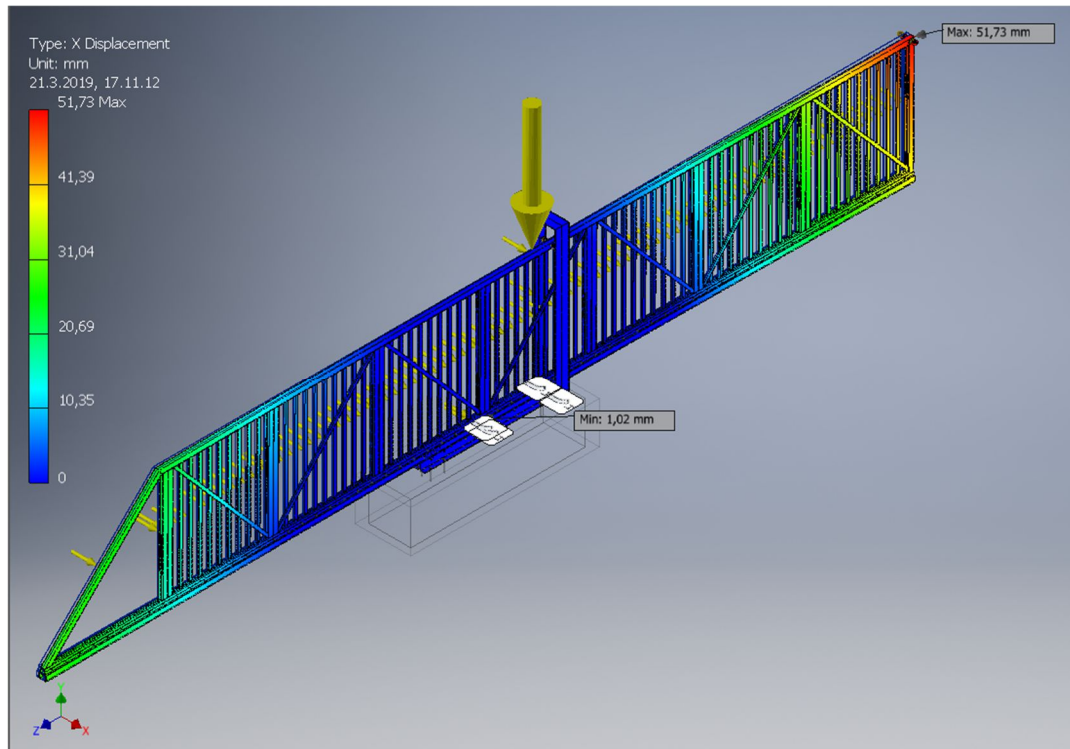
kijat. Tällä tavoin saadaan portille enemmän tilaa sivuttaissuuntaisessa liikkeessä. Kuvion 45 käyrästä nähdään portin keulan taipuma suhteessa sen asemaan, tuulen voimakkuuden ollessa 20 m/s.

Kyseinen tuulennopeus on verrattavissa myrskylukemaan, jolloin ei ole suositeltavaa asentaa tämän kokoluokan liukuporttia rannikkoalueille, jossa tuuli pääsee puhaltamaan esteettömästi. Huomioitavaa on, että 20 m/s puhaltava tuuli rannikkoalueella, ei käyttydy samalla voimakkuudella alueella, jonka maasto sisältää säännöllistä kasvillisuutta, puita ja rakennuksia (ks. maastoluokat). Kyseisen liukuportin toimintavarmuus paranee maastoluokasta riippuen.

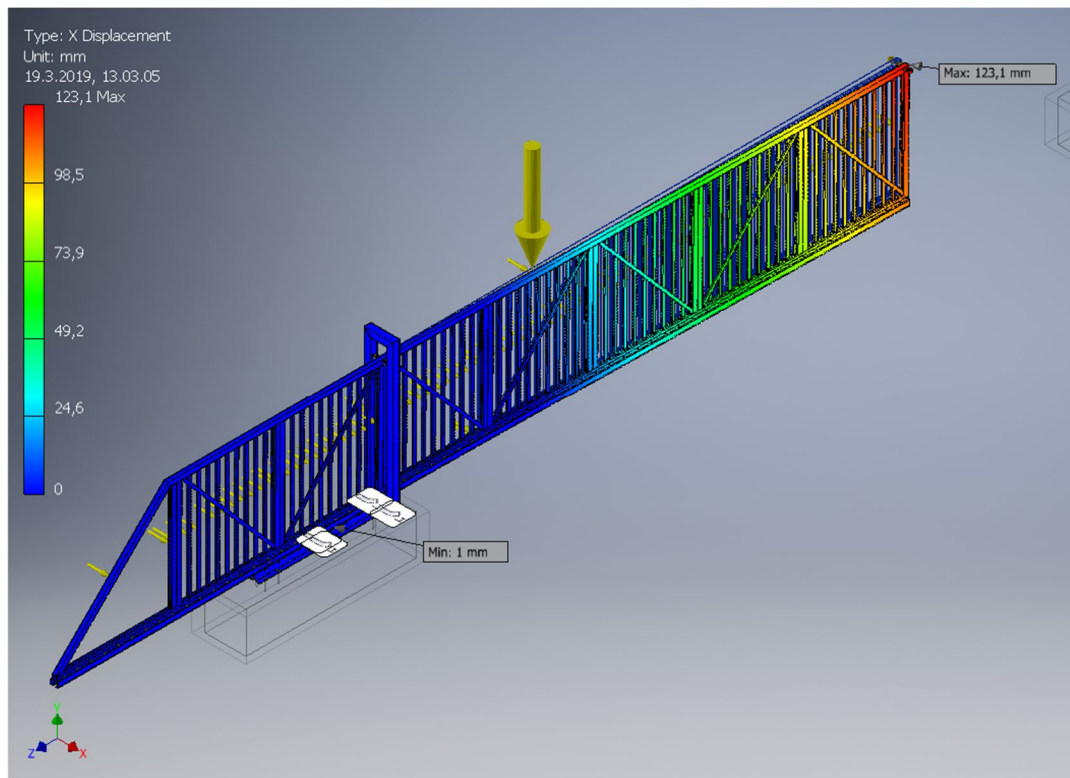
Jotta saataisiin toimiva 10 m ajoaukko hyvin tuuliselle alueelle, on suotavaa asentaa esimerkiksi kaksi viiden metrin ajoaukolla varustettua liukuporttia vastakkain. Tällöin voidaan sivuttaispoikkeamaa verrata Kuvion 41 mukaisesti, joka vastaa viiden metrin ajoaukkoa. Liukuporttien keulojen kohdatessa, vastakaaren tapainen lukitus korvataan porttien keuloihin asennetuilla hakijoilla ja rullilla (Kuvio 46).



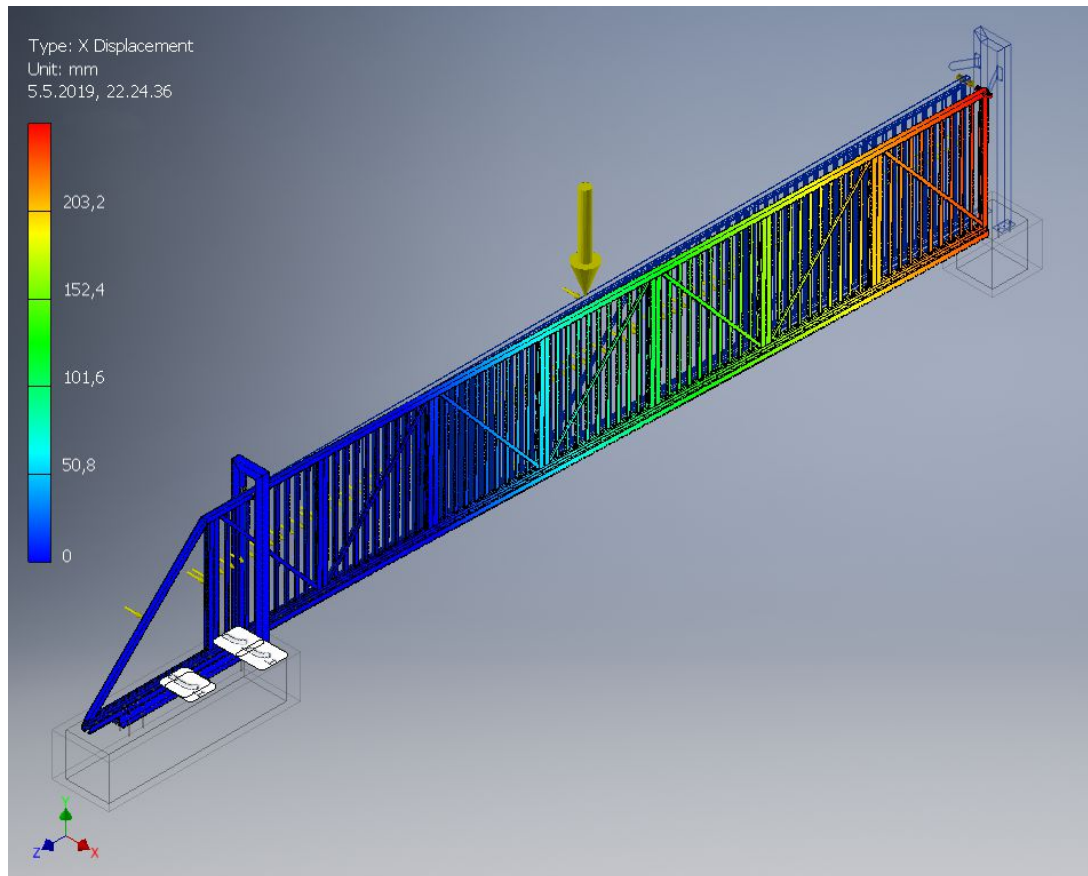
Kuvio 40. Yleiskuva 20 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 25 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



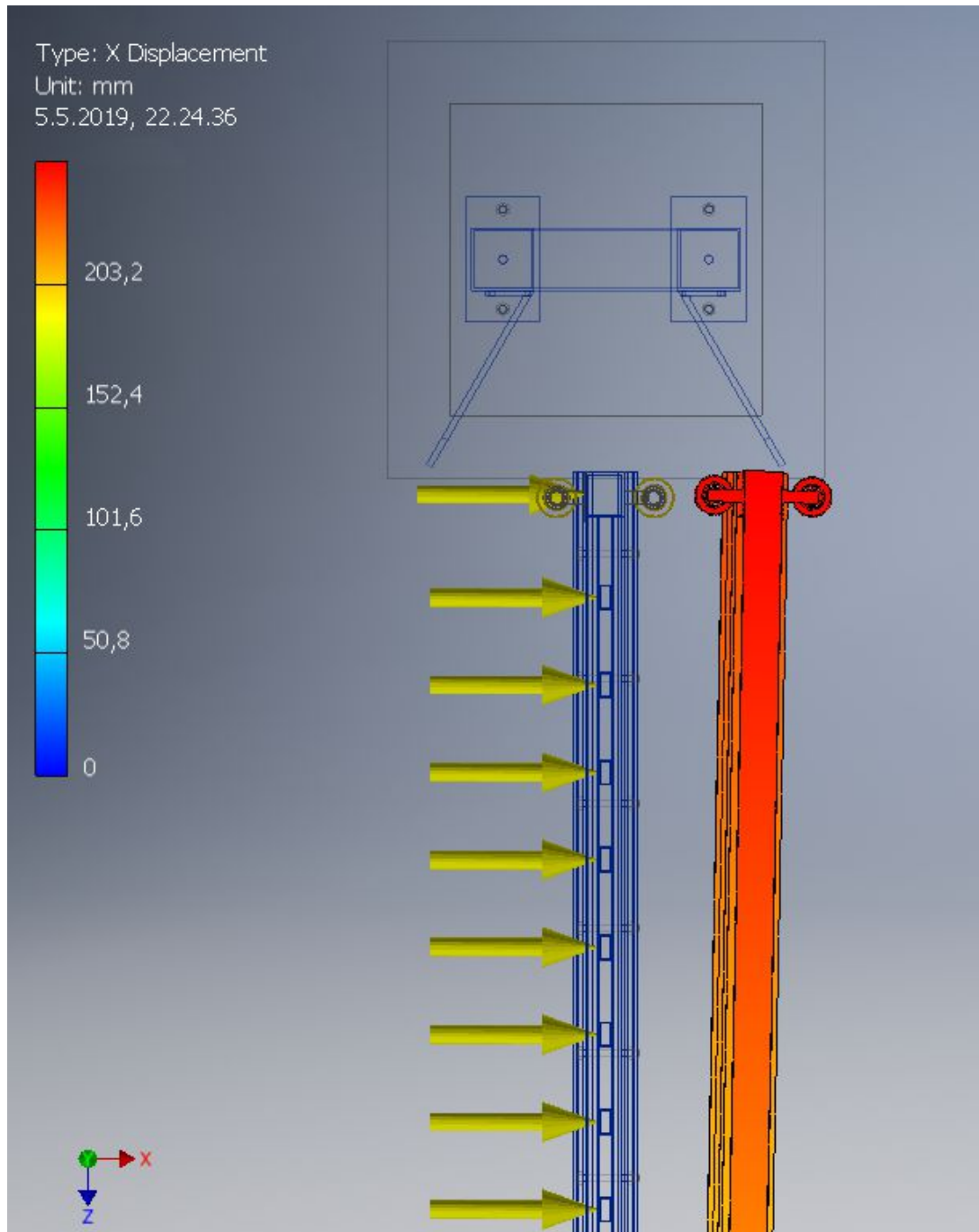
Kuvio 41. Yleiskuva 20 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 50 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



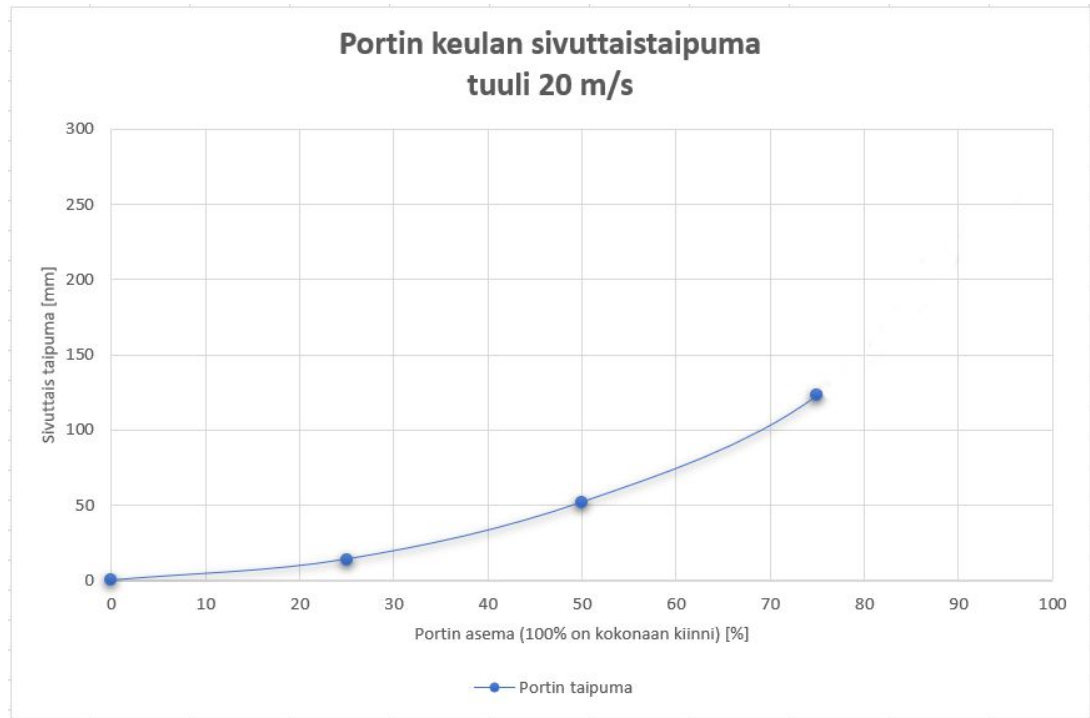
Kuvio 42. Yleiskuva 20 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 75 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



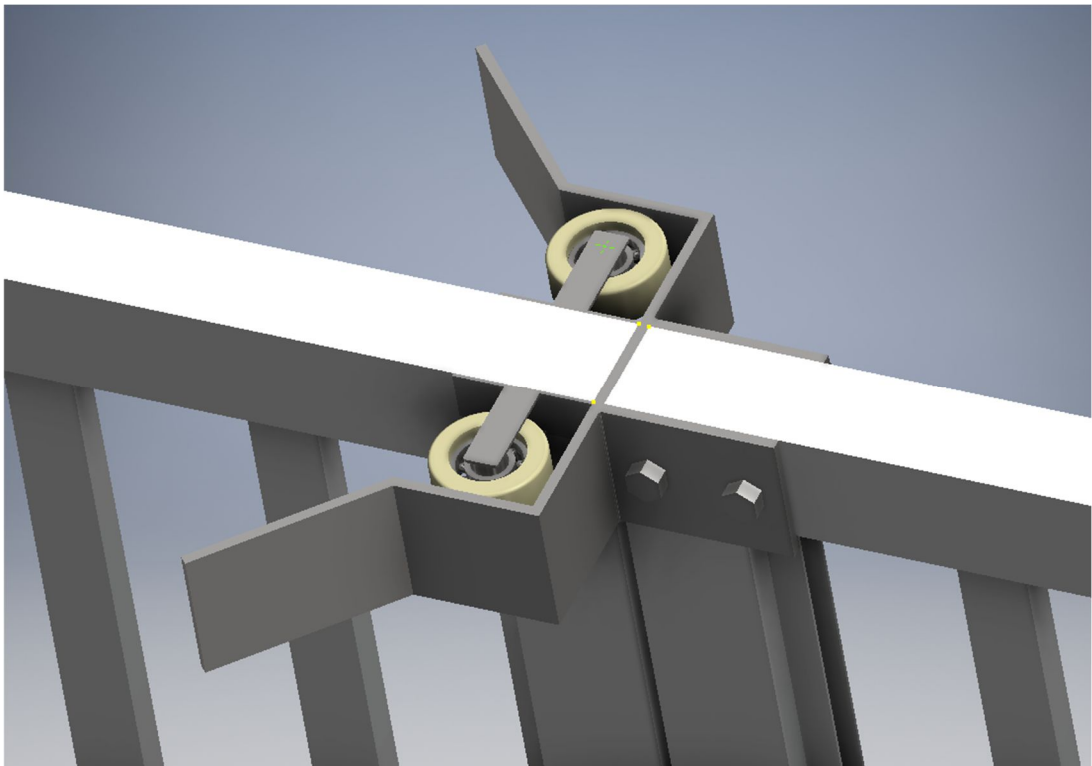
Kuvio 43. Yleiskuva 20 m/s puhaltavan tuulen vaikutuksesta 10 m alumiiniliukuporttiin, sen ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 44. Tuulen nopeus 20 m/s. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama ylhäältä kuvattuna suhteessa vastakaareen, portin ollessa 95 % kiinni (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)



Kuvio 45. Liukuportin keulan sivuttaispoikkeama suhteessa portin asemaan, portiasema 75 % asti, tuulen voimakkuuden ollessa 20 m/s



Kuvio 46. Periaatekuva vastakkain ohjautuvien liukuporttien lukitusmenetelmästä (3D-mallinnus Inventor-ohjelmalla)

8 POHDINTA

Tulosten pohjalta voidaan päätellä, että liukuportin käyttäytyminen keskimääräisesti Suomen tuuliolosuhteissa on toimivaa. On myös todettava, että alumiinin mekaanisista ominaisuuksista johtuen, tuulesta aiheutuva liukuportin keulan sivuttaispoikkeavuus alkaa huomattavasti kertaantua, portin lähestyessä kiinniasentoa.

Tulosten ääriarvot haettiin tuulen voimakkuuden ollessa 20 m/s, mikä vastaa kovaa tuulta, lähes myrskylukemia, jolloin rannikkoalueelle sijoitettu liukuportti vaatii ympärilleen rakennetun sääsuojan sekä vastakaareen asennetut pitkät hakijat.

Yleisesti sääasemilla tuulta mitataan 10 metriä maaston yläpuolelta, ellei haluta jostain erikoisyydestä mitata alemmaa läheltä kasvustoa tai korkeammalta vapaampaa tuulta. Tästä johtuen ei voida täydellä varmuudella luottaa simuloinneista saatuihin tuloksiin, sillä luonnollisesti maan läheisyydessä tuuli vaikuttaa korkealla ilmassa olevaa tuulta heikommin.

Täysin luotettaviin tuloksiin päästäisiin ainoastaan luonnossa tehtyihin käytännön kokeisiin. Tämä vaatisi liukuportille alustan, jota pystyisi kääntämään siihen suuntaan, missä tuuli vaikuttaisi aina kohtisuoraan liukuportin kylkeä vasten.

Tuulen voimakkuuden ollessa 21 m/s ja tästä voimakkaampi puhutaan myrskylukemista. Keskimäärin vuodessa kaikilla Suomen meriasemoilla yhteensä mitataan 15 myrskypäivää. Kova myrsky, jonka keskituulennopeus 10 minuutin aikana on vähintään 25 m/s, esiintyy keskimäärin 3 kertaa vuodessa.

Tuulen puuskaisuudella on myös merkittävä vaikutus liukuportin käyttäytymisen kannalta. Tutkimuksista tiedetään, että hetkelliset 5-10 sekunnin tuulen puuskat ovat 1,5-2 kertaa voimakkaampia verrattuna 10 minuutin keskinopeutena mitattuun tuuleen.

Näistä ajan myötä kerätyistä tuloksista voidaan todeta, että alumiininen liukuportti on yksi tehokkaimpia kehäsuojauksessa käytettyjä ajon esteitä, tarkastellessa sen toimivuutta Suomen olosuhteissa koko vuoden kestäväenä ajanjaksona.

Kuten tuulen nopeuspaineesta, niin myös puuskanopeuspaineesta eri maastoluokissa on saatavilla käyrästä ja kaavio. Näitä käytetään yleisesti rakennuksiin kohdistuvien ulkopuolisen kuormituksen laskennoissa. Tässä työssä puuskanopeuspaineita ei tarkemmin mainittu, sillä päällimmäisenä tavoitteena oli saada yleinen tieto tuulikuorman vaikutuksista liukuporttiin, ja keskittyä tuulinopeuksiin, joita tänä päivänä Suomessa yleisimmin tavataan. Tavoitteena oli myös nähdä, millaista tuulikuormitusta portti kestää, samalla säilyttäen sen edestakaisen liiketilan toimivuuden.

Liukuporteille olisi aina suotavaa rakentaa sääsuoja. Sen ansioista liukuportti pysyy tuulelta suojassa myös auki asennossa, samalla suojaten portin rullapukkia, sekä mahdollista porttimootoria.

FEA-analyysina tehdyt simulaatiot ovat käytännön kokemuksen perusteella hyvin lähellä totuutta, mutta opinnäytetyöhön varattu rajallinen aika ja vähäinen kokemus FEA-menetelmästä jättävät varaa jatkotutkimuksille, joille tämä työ antaa hyvän pohjan. Jatkossa samanlaisia simulaatioita kannattaisi tehdä ohjelmalla, jonka ominaisuuksiin kuuluu tuulivoimaa kuvaava voima.

Tähän työhön soveltuva ohjelma oli ensisijaisesti Autodesk Inventor. Syynä sen tuttu käyttöjärjestelmä ja useamman vuoden käyttökokemus kappaleiden ja kokoonpanojen tuotossa. Työn edetessä simulointien tekovaiheeseen, kävi hyvin nopeasti selkeäksi, että monimutkaiset FEA-laskelmat vaativat suorituskykyisen tietokoneen. Työn ehdottomasti haastavin osuus olikin simulointien suorittaminen kotikoneella, joihin upposi suurin osa työtunneista. Tästä huolimatta, opinnäytetyön teon myötä kasvanut kiinnostus 3D-mallintamiseen, antoi kirjoittajalle ajattelun aiheita tulevaisuuden suunnitelmia varten.

LÄHTEET

Engineering ToolBox 2011. Wind Velocity and Wind Load. Viitattu 15.2.2019
https://www.engineeringtoolbox.com/wind-load-d_1775.html

GPP Perimeter Protection Oy 2017. Asennuskuva. Polarstar-17 liukuportti vasta-
kaari.

Huhtanen, J. 1998. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Ympäristöministeriö,
asunto- ja rakennusosasto.

Ilmatieteen laitos 2019. Merialueiden tuulipäivät. Viitattu 17.2.2019 <https://ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>

LKAB Minerals Oy 2015. Raskasta asiaa betonista, raskasbetoni. Betoni 2/2015,
74.

Newton, I. 1704. Opticks.

Nurminen, M & Vaarnas, K. 1972. Otavan iso Fokus: Kertovasti kuvitettu 8-osai-
nen tietosanakirja. 2, Em-lo. Helsinki: Otava

Reichel, C. 2008. What is wind load? Viitattu 21.2.2019 http://www.lsuagcenter.com/topics/family_home/home/lahouse/my_house/building%20a%20high%20performance%20home/hazard%20resistant/whats-a-wind-load

RIL 201-1-2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Simscale 2019. What is finite element analysis? Viitattu 13.4.2019
www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/whatisfea.html

Sippala yhtiöt 2012. Kiviainesopas. Viitattu 29.1.2019 http://www.sippala.fi/kiviainesopas_2012.pdf

Suomen tuuliatlas 2009. Tuulimittaukset Suomessa. Viitattu 17.2.2019 www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_1.html

TPPG The Perimeter Protection Group AB 2017. Viitattu 8.1.2019 <https://www.perimeterprotection.net/fi/>

Würth Oy 2016. Kiinnitysopas. Viitattu 10.2.2019 http://docs.wurth.fi/Taulukot/wurth_kiinnitysopas.pdf?