

Elina Raudasoja

TIESILTOJEN LIIKUNTA SAUMALAITTEIDEN VALINTA KORJAUSKOHTEISSA

TIESILTOJEN LIIKUNTAUSAUMALAITTEIDEN VALINTA KORJAUSKOHTEISSA

Elina Raudasoja
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan
insinööri
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Elina Raudasoja

Opinnäytetyön nimi: Tiesiltojen liikuntasaumalaitteiden valinta korjauskohteissa

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Selection of expansion joint devices for road bridges in repair projects

Työn ohjaajat: Antti Ukonmaanaho (OAMK), Hannu-Pekka Lundgren (Sitowise Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 45

Työn aiheena on tiesiltojen liikuntasaumalaitteiden korjaus ja oikeanlaisen liikuntasaumalaitteen valinta kohteeseen. Tavoitteena oli kerätä yhteen kattava paketti ohjeita liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnitteluun, ja samalla muutaman case-esimerkin avulla pohtia syitä liikuntasaumalaitteiden rikkoutumiselle. Opinnäytetyössä pyrittiin pohtimaan, olisiko edes osa mahdollisesti ennenaikaisista rikkoutumisista vältettävissä.

Opinnäytetyöhön on kerätty yhteen tietoa liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnittelusta useista lähteistä, josta tärkeimpinä Väyläviraston erilaiset tekniset ohjeet, määräykset ja suunnitteluohjeet. Näiden pohjalta on pohdittu neljän eri sillan liikuntasaumalaitteiden korjausta ja korjaamiseen mahdollisesti johtaneita syitä.

Joutsensillan edellisiin korjauksiin perehtyessä liikuntasaumalaitteiden ennenaikaisen rikkoutumisen syyt selkenivät. Liikuntasaumalaitte on tuella T4 arviolta vaurioitunut sillan laakereiden asemoinnista johtuvasta saumaan nähden poikittaisesta liikkeestä. Voidaan väittää, että ennenaikainen rikkoutuminen olisi ollut vältettävissä huolellisemmalla suunnittelu- ja asennustyöllä. Uusien liikuntasaumalaitteiden valinnassa myös tuen T4 poikittainen liike on huomioitu tarkkaan ja voidaan olettaa laitteen pysyvän ehjänä säännöllisellä huollolla suunnitellun käyttöikänsä ajan.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil engineering, Option of House Building Engineering

Author: Elina Raudasoja

Title of thesis: Choosing Expansion Joint Devices for Road Bridges in Repair Projects

Supervisors: Antti Ukonmaanaho (OAMK), Hannu-Pekka Lundgren (Sitowise Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 45

The subject of this thesis is the repairing of expansion joints and choosing the correct device for each project. The main goal was to collect a comprehensive package of instructions to be utilized for designing repairs on expansion joints in bridges. This thesis introduces few case examples of projects where the expansion joints of the bridge have not functioned as they should have, and further questions if the breaking of the expansion joints could have been prevented and how.

This thesis brings together information and instructions regarding repair and designing of expansion joints from several different sources. Based on these sources, the thesis evaluates four different projects where expansion joints have been exchanged to a different type of device, aiming at easier maintenance and longer life expectancy.

Especially while researching the repairing of the expansion joints of the Joutsensilta bridge previously in 2015, the reasons for the premature breakage of the expansion joints became clearer. It is safe to state that the breakage due to the transversal movement on support T4 could have been avoided with more thorough designing and careful installation. In choosing the new expansion joints for the support T4, the transversal movement of the joint has been well taken into consideration. It is safe to assume that the new expansion joint device will last its whole life expectancy of 25 years with proper and regular maintenance.

Keywords: Bridge, expansion joint, construction design

ALKULAUSE

Haluan kiittää työnantajaani Sitowise Oy:tä, sekä erityisesti esihenkilöäni ja opinnäytetyöni ohjaajaa Hannu-Pekka Lundgrenia. Sain kaiken tarvitsemani avun ja ohjauksen työhöni, enkä voisi olla iloisempi löytämästäni hienosta työporukasta.

Lisäksi suuri kiitos kuuluu minua opinnäytetyön tekoprosessissa tukeneille henkilöille, tärkeimpinä puolisoni, joka on pitänyt huolen, ettei stressi käy ylivoimaiseksi. Sekä hyvä ystäväni ja opiskelukaverini, jolta pystyi kysymään neuvoja aina tarvittaessa, ja joka oli paras mahdollinen kirittäjä opinnäytetyötä tehdessä.

11.4.2024

Elina Raudasoja

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	LIIKUNTASAUMALAITTEEN TOIMINTAPERIAATE	9
3	LIIKUNTASAUMALAITETYPPEJÄ.....	10
3.1	Massaliikuntasauha	10
3.2	Yksi- ja monikumiset liikuntasauhalaitteet	12
3.3	Sormiliikuntasauhalaitteet.....	16
4	LIIKUNTASAUMALAITTEIDEN TYYPILLISIMMÄT VAURIOT	18
4.1	Massaliikuntasauhojen tyypillisimmät vauriot	18
4.2	Yksi- ja monikumisten liikuntasauhalaitteiden tyypillisimmät vauriot.....	20
4.3	Sormiliikuntasauhalaitteiden tyypillisimmät vauriot.....	21
5	LIIKUNTASAUMALAITTEEN VALINTAKRITEERIT	24
5.1	Siltapaikka	24
5.2	Liikevarat ja niiden määrittäminen	25
5.3	Huollettavuus ja vedenjohtolaitteet.....	27
5.4	Tukikaistat	30
5.5	Liikuntasauhalaitteen korjaamisen kustannukset	31
5.6	Työnaikainen asennettavuus.....	31
6	LIIKUNTASAUMALAITTEIDEN KORJAUSKOHTEITA	33
6.1	Joutsensilta O-4115	33
6.1.1	Liikuntasauhalaitteen korjaus vuonna 2015	34
6.1.2	Nykytilanne	35
6.2	Erkkolansilta O-4107	38
6.3	Herttoniemen radan silta Lahdentien yli U-6068.....	39
6.4	Halisten silta T-4020.....	41
7	POHDINTA JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN.....	43
	LÄHTEET.....	45

SANASTO

TOSS	Väyläviraston julkaisu, Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun
SILKO	Väyläviraston julkaisu, Siltojen korjausohjeet
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne
U-ELY	Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
NCCI1	Väyläviraston julkaisu, Eurokoodin soveltamisohje: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla eri liikuntasaumalaiteratkaisuja ja niiden sopivuutta korjauskohteisiin. Tavoitteena on ollut koota yhteen monipuolisesti tietoa liikuntasaumalaitteiden valinnasta sekä pohtia case-esimerkkien kautta syitä, jotka ovat saattaneet aiheuttaa käytettyjen liikuntasaumalaitteiden ennenaikaisen rikkoutumisen. Teoriaosaan on kerätty tietoa etenkin liikuntasaumalaitteen valintaan vaikuttavista kriteereistä erilaisissa kohteissa, sekä käyty läpi pääsyitä sille, miksi liikuntasaumalaitetta ylipäätään silloissa tarvitaan. Työssä keskitytään tiesilloissa käytettäviin pystysuuntaisten liikuntasaumojen liikuntasaumatuotteisiin.

Opinnäytetyössä on käytetty case-esimerkkeinä Oulussa sijaitsevia siltoja, Joutsensiltaa ja Erkkolan siltaa, joihin suunnitellaan liikuntasaumalaitteiden korjausta vuodelle 2024. Lisäksi työssä avataan kahta kohdetta Etelä-Suomesta, joissa on päädytty vaihtamaan vanhan saumalaitteen tilalle massaliikuntasauva. Liikuntasaumalaitteet on Joutsensillalla viimeksi korjattu vuonna 2015, ja joi-
nyt ne ovat niin pahasti vaurioituneet, että ne tulee uusia (1). Opinnäytetyössä pohditaan syitä liikuntasaumalaitteiden vaurioitumisille, ja annetaan perusteluja oikeanlaisen liikuntasaumalaittevalinnan tueksi.

Tämä opinnäytetyö on tehty työsuhteessa Sitowise Oy:lle. Opinnäytetyön rahoittajana on ollut lisäksi Helsingin kaupunki.

2 LIIKUNTASAUMALAITTEEN TOIMINTAPERIAATE

Liikuntasaumalla tarkoitetaan rakoja eri rakenteiden välissä, joka mahdollistaa kahden eri materiaalin tai rakenneosan liikkeitä. Tiesilloilla liikuntasauma tehdään jättämällä rako sillan liikkuvien osien väliin. Liikuntasauman vedenhallinnan takia sauman kohdalle rakennetaan liikuntasaumalaite tai muu tiivistys, jolla estetään veden pääsy liikuntasauman kautta sillan alusrakenteille. (2.) Liikuntasauma toteutetaan sillan päällystys- ja alusrakenteen rajakohtaan tai päällystysrakenteen rajakohtien väliin pystysaumallisena rakenteena joko massaliikuntasaumalla, liikuntasaumalaitteella tai liikuntasaumanauhalla. Liikuntasaumaa tarvitaan mahdollistamaan siltarakenteen liikkeitä, joita aiheuttaa lämpötilamuutoksista, materiaalien elastisuudesta ja rakenteiden muutoksista, kuten virumasta. Mikäli nämä liikkeet eivät pääsisi vapaasti tapahtumaan, syntyy siltaan rakenteita vaurioittavia pakkovoimia. (3.)

Liikuntasaumalaitteet jaotellaan pieniin, keskisuuriin ja suuriin liikuntasaumatyyppihin sen mukaan, kuinka suuren kokonaisliikemäärän ne mahdollistavat. Esimerkiksi moottori- tai moottoriliikennetien silloilla yksi- tai monikumisen liikuntasaumalaitteen kokonaisliikemäärä saa olla maksimissaan 60 mm yhtä liikuntasaumalaitteen kumiprofiilia kohti. Vilkasliikenteisten muiden teiden silloilla, joiden keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on yli 3000 ajoneuvoa, sallitaan enimmillään 80 millimetrin liikemäärä kumielementtiä kohden. Tätä pienemmillä teillä ja kevyen liikenteen silloilla yhtä kumielementtiä kohden sallittu liikemäärä on 100 mm. Rakenteiden liikkeet tulee huomioida myös sillan muissa osissa, kuten kaiteissa ja reunapalkissa. (3, s. 6.)

Tärkeimmät siltojen liikuntasaumalaitteiden korjausta ohjaavat julkaisut ovat Väyläviraston Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun (TOSS) sekä Siltojen korjausohjeet (SILKO). Näistä liikuntasaumalaitteita koskevat etenkin SILKO 1.1701, joka käsittelee siltojen liikuntasaumalaitteiden korjaamisen ohjeita. Lisäksi Väyläviraston hyväksymät liikuntasaumalaitteet esitetään Liikenneviraston Laakeri- ja liikuntasaumatuotteiden käyttöluovassa. InfraRYL määrittää myös vaatimuksensa ja ohjeensa siltojen liikuntasaumalaitteille sekä niiden suunnittelulle ja asennustyölle.

3 LIIKUNTASAUMALAITETYYPPEJÄ

Tiesilloissa käytettäviä liikuntasaumatuotteita on useita erityyppisiä. Tässä kappaleessa esitellään yleisimmät Suomessa käytetyt liikuntasaumatuotteet, eli massaliikuntasaumat, yksi- ja monikumiset liikuntasaumalaitteet sekä sormiliikuntasaumalaitteet. Lisäksi kerrotaan lyhyesti ratkaisuista, joilla saadaan rengasmelua vaimennettua yksi- ja monikumisten liikuntasaumalaitteiden kohdalla.

3.1 Massaliikuntasauma

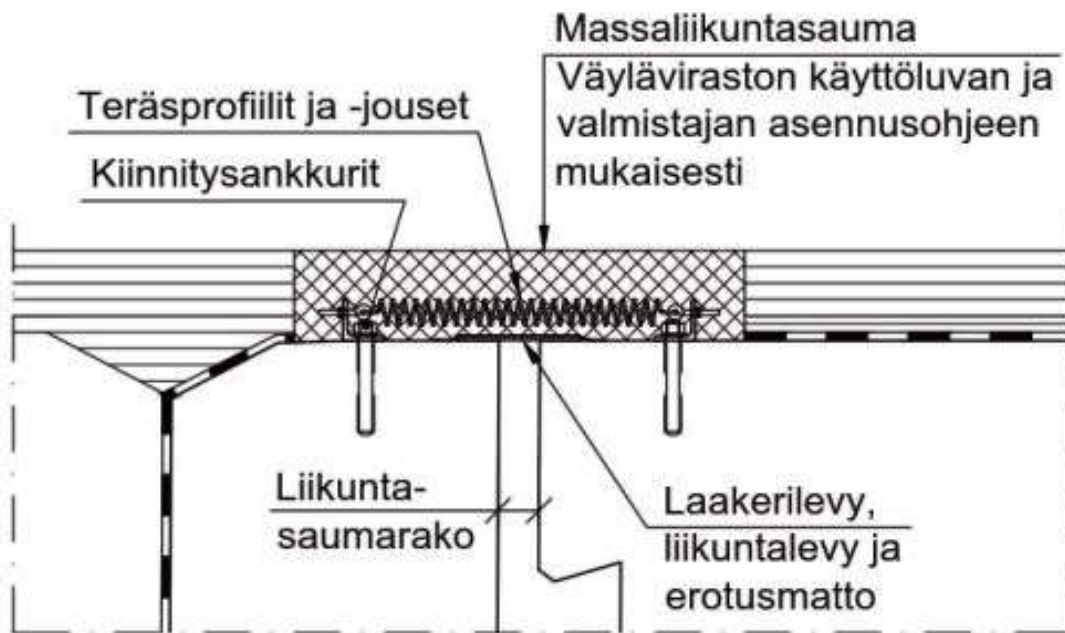
Massaliikuntasaumat eivät ole varsinaisia liikuntasaumalaitteita, vaan liikuntasauman kohdalle asennettava runkoaineksesta ja bitumista tai polymeeristä valmistettu vesitiivis saumamassa, joka mahdollistaa liikuntasauman liikkeen (2). Niitä voidaan vahvistaa teräksestä valmistetuilla jousiosilla liikevaran lisäämiseksi. Liikuntasauman alustaan ankkuroitujen kulmarautojen välissä olevat jousiosat auttavat lisäämään massasauman liikekapasiteettia. Ne ottavat liikettä vastaan sekä auttavat massaa palautumaan, kun liikuntasaumarako kasvaa tai pienenee. (3.)

Massaliikuntasaumat voidaan jakaa karkeasti kahteen: polymeeribitumisiin ja bitumittomiin massaliikuntasaumoihin. Nämä ovat keskenään ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia. Isoin ero polymeeribitumisten ja bitumittomien massasaumojen välillä on saumamassaan käytettävät sideaineet ja liikuntasauman valmistustavat. Myös massaliikuntasauman kunnossapidon kannalta näissä kahdessa on eroja. Bitumiton massaliikuntasauma on hankalampi kunnossapitää, sillä ne ovat huomattavasti polymeeribitumisia kovempia, jolloin niiden jyrsiminen ja yläpinnan uusiminen vaatii järeämpää kalustoa (2).

Polymeeribituminen massaliikuntasauma sijaitsee useimmiten sillan päässä ja on vesitiivis liikuntasauma sillan päällysrakenteen ja maatuen, tai kahden kannen osan välissä. Massaliikuntasauman elastisena sideaineena toimii polymeeribitumi (KB), jonka lisäksi sideaineena on saatettu käyttää polyuretaaneja (PUR). Suomessa polymeeribitumoidusta kiviaineksesta valmistettuja massaliikuntasaumoja on käytetty 1990-luvulta alkaen. Teräsosilla vahvistettuja massaliikuntasaumoja puolestaan on Suomessa käytetty vuodesta 2008 lähtien. (4, s. 7.)

Liikepituus sillan päädyssä sijaitsevassa pelkästä polymeeribitumoidusta kiviaineesta valmistetulla massaliikuntasaumalla voi nykyisin olla noin 35 mm. Teräsosilla sekä -jousilla vahvistetuilla massaliikuntasauoilla liikepituus voi puolestaan olla sauman korkeudesta sekä leveydestä riippuen maksimissaan noin 75 mm. Bitumittomilla massaliikuntasauoilla liikepituus voi taas olla Väyläviraston käyttöluvan mukaan 90 mm riippuen sauman korkeudesta ja leveydestä, vaikkakin laitevalmistajat lupaavat tuotteilleen pitempiäkin liikepituuksia. Suomessa bitumittomia massaliikuntasauoja on käytetty vuodesta 2014 alkaen. (4.)

Bitumittomat polymeerimassaliikuntasauvat ovat samankaltaisia kuin polymeeribitumisetkin massaliikuntasauvat. Ne molemmat ovat vesitiiviitä liikuntasauvaratkaisuja maatuen ja sillan päällysrakenteen välillä. Ero bitumillisen ja bitumittoman massaliikuntasauvan välillä on niiden sideaineissa ja valmistustavoissa. Bitumittomat massaliikuntasauvat valmistetaan kylmänä sekoittamalla keskenään saumamassan komponentit, eli runkoaines, polymeerinen sideaine ja kovetin. Sekoituttuaan massa jähmettyy nopeasti ja on tämän jälkeen valmis massaliikuntasauva. Bitumittomissa massaliikuntasauvoissa käytetään vahvisteena teräsoasia sekä -jousia. Kuvassa 1 on esitetty teräsosilla vahvistetun massaliikuntasauvan rakennekuva ja kuvassa 2 valmiin bitumittoman polymeerimassaliikuntasauvan kuva. (4, s. 9.)



KUVA 1. Teräsosilla vahvistetun massaliikuntasauvalaitteen rakenneleikkaus (4)



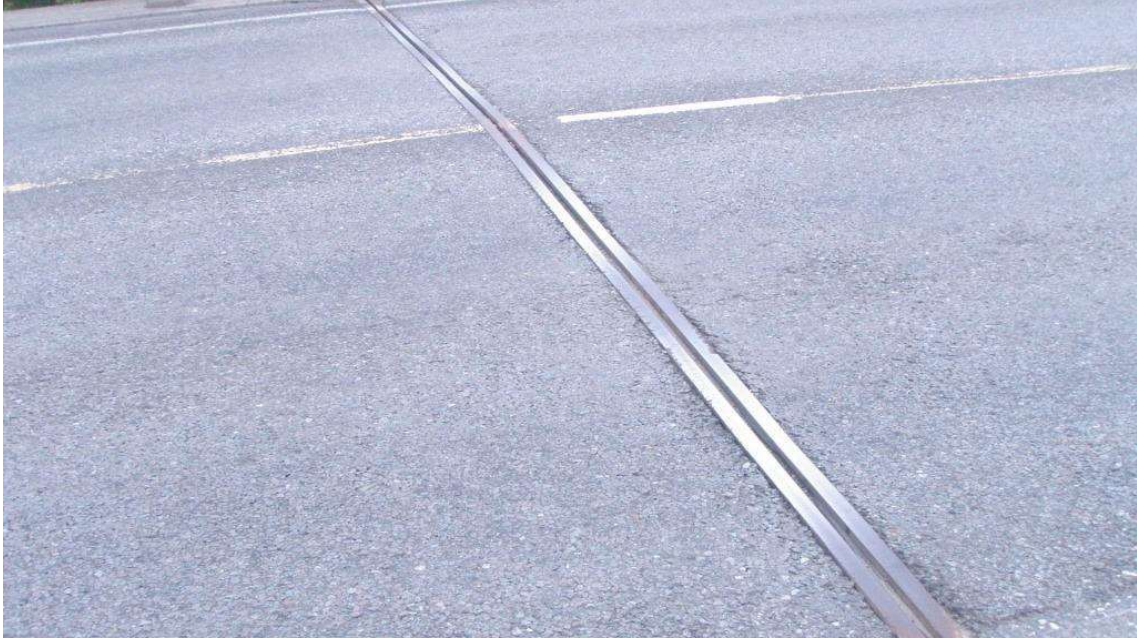
KUVA 2. Bitumiton polymeerimassaliikuntasauama (4)

3.2 Yksi- ja monikumiset liikuntasauamalaitteet

Yksi- ja monikumiset liikuntasauamalaitteet ovat pääperiaatteeltaan keskenään samanlaisia. Isoin ero niiden välillä on nimenkin mukaisesti kumiprofiilien määrässä ja sitä myötä liikuntasauamalaitteen mahdollistamassa liikevarassa. Lisäksi monikumiset liikuntasauamalaitteet tarvitsevat alleen traverssin, joka estää kumienvälisten teräsosien putoamisen liikuntasauamaan (2). Vaikka yksi- ja monikumiset liikuntasauamalaitteet luetaankin vesitiiviiksi saumaratkaisuiksi, on tilanteita, joissa sillan poikkileikkaus on kovin monimuotoinen. Tällöin ei yksi- tai monikumisestakaan liikuntasauamalaitteesta voi saada täysin vesitiivistä, vaan tarvitaan liikuntasauaman alapuolinen vedenkeräysjärjestelmä ja vedenohjaus.

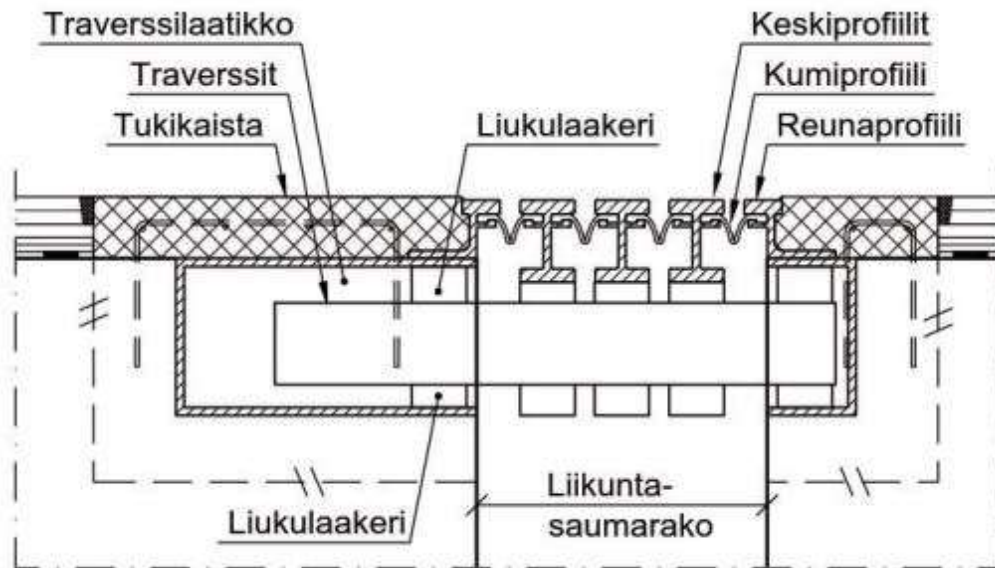
Yksikuminen liikuntasauamalaite koostuu joko teräs- tai alumiinilevyjen taikka -profiilien väliin asennetusta, metalliosiin vesitiiviisti liittyvästä kumiprofiilista. Kuvassa 3 on yksikuminen liikuntasauamalaite Halisten sillalla Turussa. Sillan rakenteisiin liikuntasauamalaitteen metalliosat on kiinnitetty joko ruuvi kiinnikkeillä tai asennettuna valuun. Yleensä alumiinista tai teräksestä valmistetut vahvikeosat

on tehty siten, että kumiprofiili on mahdollista vaihtaa. Yksikumisen liikuntasaumalaitteen molemmilla puolilla on tavallisesti tukikaista estämässä teräsosien vaurioitumista (2). Liikevara yksikumisilla liikuntasaumalaitteilla tiesilloissa on noin 50–100 mm laitevalmistajasta riippuen. (4, s. 6.)



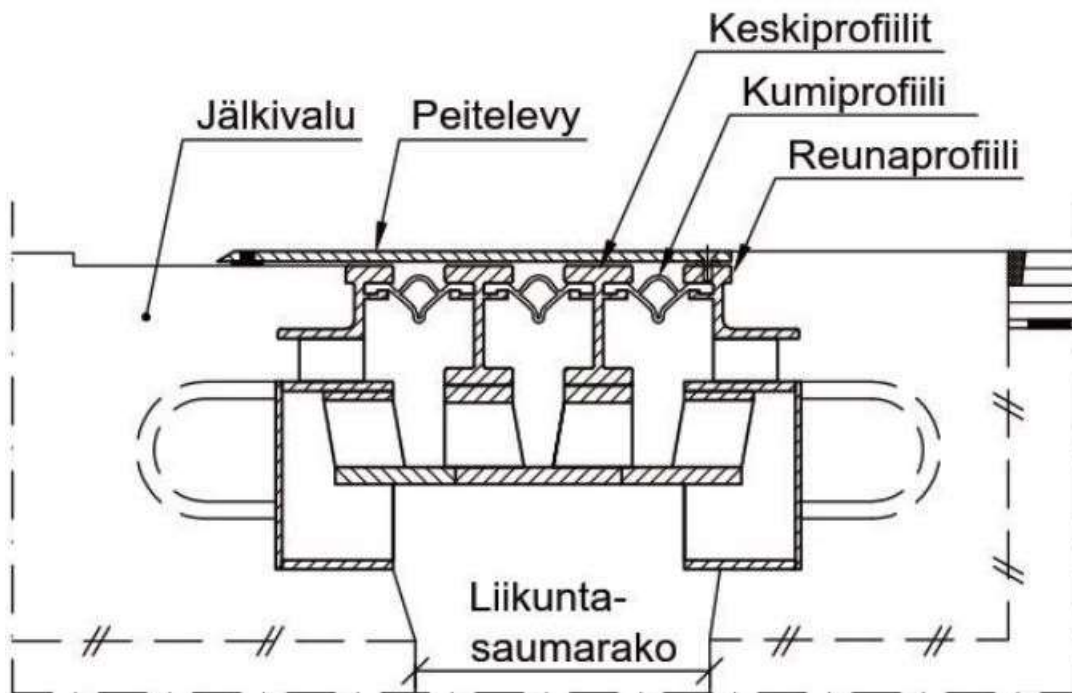
KUVA 3. Yksikuminen liikuntasaumalaitte (5)

Toimintaperiaatteeltaan samanlaisia ovat myös monikumiset liikuntasaumalaitteet, jonka rakennekuva on esitetty kuvassa 4. Yksi eroista yksi- ja monikumisten liikuntasaumalaitteiden välillä on niiden tilatarve. Monikumisen liikuntasaumalaitteeseen liittyvien traverssipalkkien vuoksi (2). Monikumisissa liikuntasaumalaitteissa teräsprofiilien väliin on asennettu nimensä mukaisesti useampi kumiprofiili. Liikevara monikumisilla liikuntasaumalaitteilla kasvaa liikuntasaumalaitteiden kumiprofiilien määrän lisääntyessä. Kumiprofiilien välissä olevat teräsprofiilit tukeutuvat niiden alapuolella oleviin teräsosiin, eli traversseihin. Nämä teräsprofiilit puolestaan liittyvät sillan rakenteisiin mahdollistaen liikuntasaumaan kohdistuvat liikkeet. Myös monikumisten liikuntasaumalaitteiden molemmilla puolilla on tärkeää olla aina tukikaistat. (4, s. 6.)



KUVA 4. Monikumisen liikuntasaumalaitteen rakenneleikkaus (4)

Yksi- tai monikumisen liikuntasaumalaitteen ylityksestä aiheutuvaa rengasmelua on mahdollista vaimentaa käyttämällä monikumisen liikuntasaumalaitteen poikittaissuuntaisten teräsprofiilien päällä teräsvalmisteisia hiljentimiä. Asentamalla hiljentimet liikuntasaumalaitteen yläpintaan, vähenee myös kivien pääseminen kumiprofiilien uriin. Näin liikuntasaumalaitteen kumiprofiilien herkkyyden vaurioitua pienenee. Toisaalta asennetut hiljentimet vaikeuttavat liikuntasaumalaitteen kumiprofiilien puhtaanapitoa, ja itse peitelevyt ovat alttiita aurausvaurioille. Kuvassa 5 on esitetty rakennekuva peitelevyillä varustetusta monikumisesta liikuntasaumalaitteesta. Kuva 6 on erillisillä sormilevyillä varustetusta monikumisesta liikuntasaumalaitteesta (4, s. 6.)



KUVA 5. Rakenneleikkaus peitelevyllä varustetusta vesitiiviistä liikuntasaumalaitteesta (4)



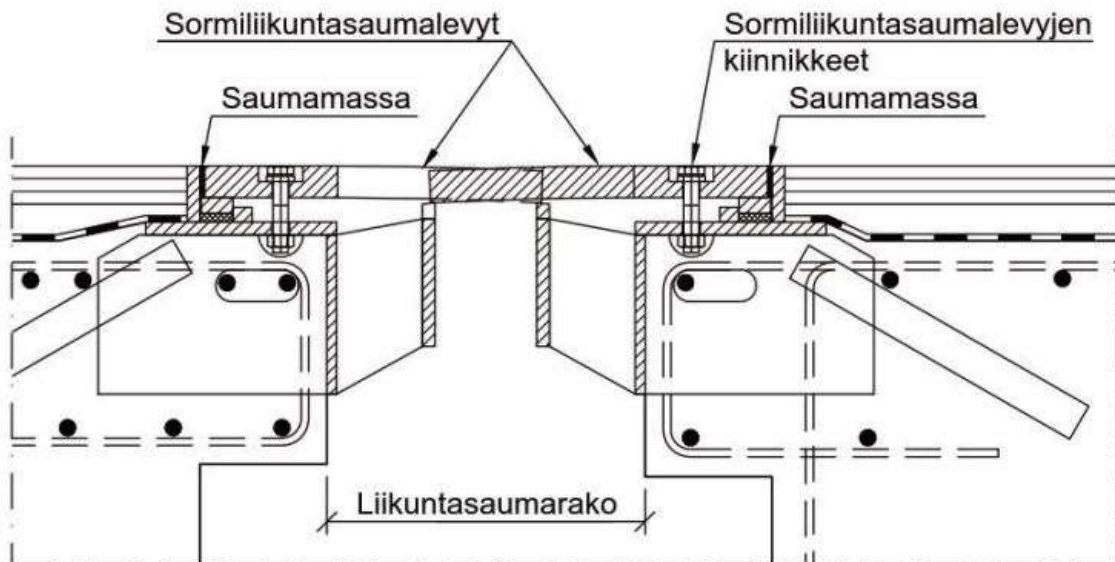
KUVA 6. Erillisillä sormilevyillä varustettu Mageban monikuminen liikuntasaumalaite (6)

Vielä 1970-luvulle asti sillan liikuntasaumarakenteet tehtiin ankkuroimalla teräksestä valmistetut kulmaprofiilit päällysrakenteen ja maatuen rakenteisiin, joiden päälle sitten kiinnitettiin turkkilevyksi kutsuttu peitelevy. Peitelevyn kiinnitys toteutettiin siten, että se mahdollistaa sillan pituussuunnassa tapahtuvat liikkeet. Tällaiset liikuntasaumalaitteet eivät olleet vesitiiviitä, vaan vaativat alleen vedenohjausjärjestelmän (2). Peruskorjausten yhteydessä avoimia teräslevyrakenteisia liikuntasaumalaitteita on uusittu vesitiiviiksi liikuntasaumoiiksi, ja ne ovatkin pitkälti hävinneet jo Suomen silloista. Kuitenkin kevyen liikenteen silloilla sekä kevyen liikenteen väylien kohdalla käytetään vielä

peitelevyjä uusissakin silloissa vesitiiviin liikuntasaumalaitteen päällä tai vaihtoehtoisesti avoimen liikuntasaumaraon päällä turkkilevyä. (4.)

3.3 Sormiliikuntasaumalaitteet

Yksi niin sanotuista hiljaisista liikuntasaumalaiteratkaisuista on sormiliikuntasaumalaitteet, jonka rakennekuva on esitetty kuvassa 6. Sormiliikuntasaumalaitteessa sillan kanteen sekä maatuen ot-samuuriin on kiinnitetty teräsosat, jotka sormimaisen muotoilun avulla limittyvät toisiinsa mahdollistaen sillan liikkeitä liikuntasaumalaitteen kohdalla. Sormiliikuntasaumalaitteeseen on liikuntasaumarakenteena avoin, eikä näin ollen ole vesitiivis. Sormiliikuntasaumalaitteeseen teräsosien alapuolelle on vedenkeruulaitteeksi asennettava joko liikuntasaumarakenteisiin kiinnitettävä kumimatto tai sillan päätyrakenteisiin kiinnitettävä teräksestä valmistettava hulevesikouru, jonka avulla vedet voidaan hallitusti johtaa sillan ulkopuolelle. Runko sormiliikuntasaumalaitteella on useimmin valukiinnitteinen. Rungon päällä on teräslevyt, joiden toisella sivullaan on sormimainen muotoilu. Ne ovat rungossa kiinni ruuvikiinnityksellä. Kuvassa 7 on esitetty sormiliikuntasaumalaitteella Rautasiltana tunnetulla Vanhalla rautatiesillalla (O-1609) Oulussa. (4, s. 10.)



KUVA 6. Sormiliikuntasaumalaitteen rakenneleikkaus (4)



KUVA 7. Sormiliikuntasaumalaite, Vanha rautatiesilta (4)

Suomessa nykyisin käytettävien sormiliikuntasaumalaitteiden liikepituus voi olla jopa 490 mm, riippuen liikuntasaumalaitteen valmistajasta ja tyypistä. Laittevalmistajilla on tätäkin suurempia laitevaihtoehtoja, mutta niille ei ole Suomessa haettu Väyläviraston käyttö lupaa (2). Sormiliikuntasaumalaitteita on Suomessa käytetty harvakseltaan jo 1960-luvulta lähtien. Vuosituhannen vaihteen lähestyessä niiden käyttö loppui, mutta vuodesta 2015 sormiliikuntasaumalaitteiden käyttö on jälleen yleistynyt. (4, s. 10.)

4 LIIKUNTASAUMALAITTEIDEN TYYPILLISIMMÄT VAURIOT

Rakenteeltaan erityyppisillä liikuntasaumalaitteilla on omat tyypilliset vaurionsa. Näiden vaurioiden seuraaminen sekä ajoissa korjaaminen on tärkeää, koska liikuntasaumarakenteen läpi vuotava vesi ja talvisin suola aiheuttavat vaurioita myös muille sillan rakenteille. Liikuntasauman vaurioituminen aiheuttaa myös haittaa sillan käyttäjille vaikuttaen väylän ajettavuuteen, sillä vaurioituttuaan liikuntasaumalaitteet särkyvät ja kolisee ikävästi yliajattaessa. Tästä aiheutuva melu puolestaan voi aiheuttaa kaupunkialueella isojakin ongelmia. Lisäksi mahdollisesti irtoavat osat aiheuttavat vaaraa liikenteelle. Toinen ajettavuuteen vaikuttava tekijä on liikuntasaumalaitteeseen ja tukikaistoihin kulumisesta ja erinäisistä vaurioista aiheutuneet epätasaisuudet ja korkeuserot. Liikuntasaumalaitteen kohdalle syntyvä porrastus tai painauma vaikuttaa käyttömukavuuteen (4).

4.1 Massaliikuntasaumojen tyypillisimmät vauriot

Polymeeribitumittomien liikuntasaumojen yleisimmät vauriot liittyvät saumamassan irtoamiseen päällysteen reunasta, deformaatioon ja halkeiluun. Näihin syynä on usein työvirhe tai vääränlainen saumamassan koostumus. Massaliikuntasauman vaurioita aiheutuu myös tien käytöstä: auraskalustolla törmäämisen seurauksena vaurioitunut tai päällystejyrsinnän yhteydessä jyrskitty, liian ohueksi jäänyt massaliikuntasauma saattavat vaikuttaa sauman vesitiiveyteen. Vaarana on myös teräsosilla vahvistetun massaliikuntasauman jousirakenteen paljastuminen. Kuvassa 8 näkyy massaliikuntasaumalle tyypillinen auraskaluston aiheuttama vaurio. (4, s. 14–15.)



KUVA 8. Höyläysjälki massaliikuntasaumassa (7)

Bitumittomia massaliikuntasauvoja on ollut Suomessa käytössä vasta suhteellisen lyhyen aikaa. Tästä syystä ei niiden pitkäaikaisesta käytöstä johtuvia vauriotyyppejä tiedetä vielä tarkasti. (4, s. 16.)

Massaliikuntasauvoja ei suositella käytettäväksi esimerkiksi kaarteellisissa ramppisilloissa, joissa saumaan voi keskipakovoimien takia tulla kesäisin deformaatiota. Lisäksi paikoissa, joissa liikenne seisoo sekä jarruttelee, esimerkiksi liikennevaloissa ja bussipysäkkien läheisyydessä, voi liikuntasaumaan tulla deformaatiota. Näihin kohteisiin esimerkiksi yksikuminen liikuntasaumalaitte voisi olla viisaampi valinta. (8.)

4.2 Yksi- ja monikumisten liikuntasaumalaitteiden tyypillisimmät vauriot

Yksi- ja monikumisten liikuntasaumalaitteiden yleisin vauriotyyppi on liikuntasaumalaitteen kumi-profiilin vaurioituminen niin, ettei liikuntasauama ole enää vesitiivis. Useimmiten liikuntasaumalaitteen kumiosan rikkoo laitteen uriin kertyvä hiekka, jää ja kivet yhdessä sillan liikkeiden kanssa sekä liikenteen aiheuttamat iskut liikuntasaumalaitteeseen. Kumin hyväksi koetut materiaaliominaisuudet heikkenevät ajan kuluessa, ja näin ollen ikääntynyt kumiosa vaurioituu uutta saamaa herkemmin. Tarkasta kumin vaurioitumismekanismista ei kuitenkaan ole julkaistu tutkimuksia. (4, s. 13.)

Kun tukikaistat kuluvat, liikenteestä aiheutuvat rasitukset kohdistuvat liikuntasaumalaitteen teräsrakenteisiin suoraan. Niihin saattaa esimerkiksi aiheutua aurasกุลustosta törmäysvaurioita. Toki aurasกุลusto voi törmätä laitteeseen, vaikka saumarakenne olisi suunniteltu ja toteutettu täysin oikein. Tukikaistan kulumisen seurauksena kohdistuu liikuntasaumalaitteeseen enemmän liikenteestä johtuvaa rasitusta. Tällöin liikuntasaumarakenteen teräsosissa voi esiintyä kuluma- sekä väsytysvaurioita ja murtumia. Liikenteestä syntyvä rasitus aiheuttaa liikuntasaumalaitteeseen tärinää, joka voi heikentää liikuntasaumalaitteen kiinnitystä betoniin. Puolestaan teräsosien kuluessa todennäköisyys laitteen kumi-profiilien vaurioitumiselle tai jopa irtoamiselle kasvaa. (4, s. 13.)

Liikuntasaumalaitteen teräsrakenteissa voi esiintyä korroosiovaurioita laitteen ikääntymisen myötä. Liikennesäätö- ja aurasกุลuiden myötä liikuntasaumalaitteen teräsrakenteita suojaava pinnoitus, yleisimmin maali, kuluu aiempaa nopeammin. Kuvassa 9 näkyy ruostevaurioita Erkkolan sillan (O-4107) monikumisessa liikuntasaumalaitteessa. Lisäksi kuvasta voi havaita, kuinka kumi-profiilien urat ovat täynnä roskia, ja erityisesti ajokaistalla tukikaistat ovat kuluneet. Autojen nastarenkaat kuluttavat pinnoitteen nopeasti teräsprofiilien yläpinnasta ajourien kohdalta pois. Teräsrakenteiden vaurioitumisnopeus kiihtyy pinnoitteen kuluessa ja korroosiovaurioiden syntymisen todennäköisyys kasvaa. Yksi- ja monikumisissa liikuntasaumalaitteissa kumi-profiili on kiinni teräsprofiilin kumiurassa. Kun tämä ura ruostuu kumin liitospinnan kohdalta, on vaarana koko liikuntasaumalaitteen vesitiiveyden heikkeneminen kumi-profiilin irtoamisen myötä. (4, s. 13.)



KUVA 9. Monikumisen liikuntasaumalaitteen vauriokuva, Erkkolan silta (5)

4.3 Sormiliikuntasaumalaitteiden tyypillisimmät vauriot

Sormiliikuntasaumalaitteissa voi esiintyä teräsrakenteille normaaleja vaurioita, esimerkiksi kulumaa, vääntymisiä ja korroosiota. Teräsosiin voi kohdistua aurasikaluston aiheuttamia törmäysvaurioita liikuntasauarakenteen tukikaistan kulumisen myötä. Kuluneen tukikaistan vuoksi liikuntasaumalaitteeseen kohdistuu entistä enemmän liikenteestä aiheutuvaa räsitusta. Lisäksi aurasikalusto tökkää herkemmin laitteeseen, jos tukikaistan ja päällysteen väliin on syntynyt pykälä. Liikenteestä johtuva räsitus aiheuttaa myös liikuntasaumalaitteeseen tärinää, joka voi heikentää liikuntasaumalaitteen ja betonin kiinnittymistä toisiinsa. Lisäksi tärinä voi aiheuttaa ruuvikiinnikkeiden irtoamisia liikuntasaumalaitteeseen. Kuvassa 10 voi nähdä sormiliikuntasaumalaitteen vaurioita: puuttuvien tukikaistojen takia asfaltti on purkautunut molemmin puolin liikuntasaumalaitetta. Lisäksi sormilevyjen kiinnikkeiden kohdalla ollut saumamassa on joko irronnut tai puuttuu täysin. (4, s. 17.)



KUVA 10. Sormiliikuntasaumalaitteen vauriokuva (4)

län myötä sormiliikuntasaumalaitteen teräksisissä rakenneosissa esiintyy yleensä laajojakin pintakorrosiovaurioita. Sormiliikuntasaumalaitteissa teräsosat ovat huomattavan paksuja profiililtaan, joten on erittäin harvinaista, että teräsosat kuitenkin ruostuisivat puhki. Kun liikuntasaumarakenteen tukikaistat kuluvat ja liikenteen aiheuttamat räsitukset pääsevät vaikuttamaan suoraan liikuntasaumarakenteen teräsosiin, kuluvat teräsrakenteita suojaavat pinnoitteet nopeammin. Kun pinnoitteet kuluvat sekä ikääntyvät, kiihtyy teräsrakenteiden vaurioitumisnopeus, ja näin ollen korrosiovaurioiden ilmenemisen todennäköisyys kasvaa huomattavasti. (4, s. 17.)

Liikenteestä aiheutuvan tärinän sekä mahdollisten työvirheiden seurauksena sormiliikuntasaumalaitteiden ruuvikiinnikkeissä voi ilmetä kiinnikkeiden löystymisiä ja jopa irtoamisia. Sormiliikuntasaumalaitteen tienpinnassa näkyvillä olevien kiinnikkeiden varauskoloissa suositellaan käytettävän saumamassaa, jolla estetään veden seisominen koloissa. Usein näissä varauskoloissa käytettävä saumamassa kuitenkin joko puuttuu tai on irronnut. (4, s. 17.)

Sormiliikuntasaumalaitteen alapuolisessa vedenkeruujärjestelmässä saattaa esiintyä vaurioita, joiden seurauksena vesi pääsee valumaan liikuntasaumalaitteen alapuolisille rakenteille, ja näin aiheuttaa erilaisia seurannaisvaurioita, kuten esimerkiksi rapautumia tai korroosiovaurioita. Vedenkeruujärjestelmän puuttuminen lasketaan myös liikuntasaumalaitteen vaurioksi. (4, s. 17.)

5 LIIKUNTASAUMALAITTEEN VALINTAKRITEERIT

Oikeanlaisen liikuntasaumalaitteen valinnalla pyritään minimoimaan vaurioiden syntymistä. Tähän valintaan vaikuttaa useampi asia. Valintaa ohjaavat erilaiset säädökset ja ohjeistukset esimerkiksi Väylävirastolta sekä liikuntasaumalaittevalmistajilta. Lisäksi yksi tärkeä huomioitava asia liikuntasaumalaitteen valinnassa on siltapaikka ja käyttäjien näkökulma. Jos silta sijaitsee lähellä asutusta tai kaupunkiympäristössä, on syytä suosia hiljaisia laitteita tai massaliikuntasauvoja monikumisten liikuntasaumalaitteiden sijaan. Myös sillan kevyen liikenteen käyttäjille monikuminen liikuntasaumalaitte ja sormiliikuntasaumalaitte ovat massaliikuntasaumaa huonompia valintoja, varsinkin jos laitteen raot kasvavat kovin suuriksi. Suuremman liikemäärän silloilla kannattaa harkita kevyen liikenteen väylän kohdalla peitelevyjä liikuntasaumalaitteelle, jotta esimerkiksi pyöräily saumalaitteen yli onnistuu vaarattomasti. Toki liikuntasaumatuotetta valittaessa on myös huomioitava, että peitelevyt usein hankaloittavat laitteen puhtaanapitoa.

Tie- ja kevyen liikenteen silloissa voidaan valtion hankkeissa käyttää vain Väylävirastolta luvan saaneita liikuntasaumatuotteita, kun taas kunnat ja kaupungit voivat toimia myös toisin. Näistä Väyläviraston käyttöluvan saaneista liikuntasaumatuotteista on olemassa luettelo Väyläviraston internetsivuilla. Käyttöluvan lisäksi on noudatettava InfraRYL- sekä TOSS-ohjeita ja niiden antamia lisäohjeita ja -vaatimuksia. Suunnittelussa on myös muistettava, että liikuntasauvojen kaikki yläpinnat sekä tukikaistat suunnitellaan samansuuntaiseen kaltevuuteen sillan pintarakenteen kanssa. (9, s. 15.)

Tärkeää on kuitenkin muistaa, että loppukädessä tilaaja tekee päätöksen käytettävästä liikuntasaumalaitteesta. Suunnittelijan tehtävä on suositella valintakriteerien, suositusten, säädösten sekä tilaajan toiveiden pohjalta kohteeseen sopivinta liikuntasaumalaiteratkaisua.

5.1 Siltapaikka

Sillan sijaintipaikka tuo omat rajoitteensa valittaville liikuntasaumalaitteille. Luonto-olosuhteet, liikennemäärät ja ympäristö ohjaavat saumalaitteen valintaa huomattavasti.

Kaupunkiympäristössä sekä asutuksen läheisyydessä voidaan siltaan suunnitella käytettävän niinkutsuttuja hiljaisia liikuntasaumalaitteita. Yleisimmät näistä ovat massaliikuntasamat sekä sormiliikuntasaumalaitteet. Lisäksi on olemassa myös pintarakenteeltaan erikoisvalmisteisia liikuntasaumalaitteita, jotka nekin on suunniteltu mahdollisimman hiljaisiksi. (9, s. 16.)

Jos sillalla tai sen välittömässä läheisyydessä on esimerkiksi liikennevaloja siten, että sillalla liikenne kiihdyttää ja jarruttaa runsaasti, olisi siihen hyvä valita liikuntasaumalaitte, joka soveltuu silta-apaikalle. Massaliikuntasaumalaitte ei välttämättä paikkaan sovellu, sillä siihen syntyy herkästi deformaatioita. Tällöin onkin parempi harkita esimerkiksi yksikumista liikuntasaumalaitetta.

5.2 Liikevarat ja niiden määrittäminen

Sillan liikuntasauoman liikemäärän raja-arvot tulee määrittää sillan liikkeen suunnassa (9, s. 15). Yleensä suurimmat sillankannen liikkeet aiheutuvat lämpötilavaihteluista johtuvasta lämpölaajenemisesta. Tämän vuoksi kuormien yhdistelyssä on tärkeää ottaa huomioon lämpötilakuorma. Joissain tapauksissa liikenteestä aiheutuvat jarrukuormat voivat olla huomattavia, vaikkakin niitä harvoin korjauskohteissa tarkastetaan (2).

Sillan laakereiden sekä liikuntasauomien liikevarat mitoitetaan TOSS:n ohjeiden mukaisesti kuormien ominaisyhdistelmälle. Liikuntasauomien liikemäärissä on otettava huomioon sekä tukien siirtymät, että taulukossa 1 annettu lisävarmuus ΔT_0 . Tämän lisävarmuuden voi olettaa vaikuttavan molempiin liikesuuntiin taulukossa esitetyn kokonaisarvon suuruisena. Lisäksi on muistettava, että tavallisimpien rakennusmateriaalien lämpölaajenemiskertoimet on esitetty kutakin materiaalia koskevissa ohjeissa. (9, s. 13.)

TAULUKKO 1. Lisävarmuusluvun ΔT_0 ominaisarvot (9)

Tapaus	Asentaminen	ΔT_0 (°C)
1	Asennus suoritetaan, kun rakenne on ennalta määritetyssä lämpötilassa.	10
2	Asennus suoritetaan ilman rakennusaikaisen lämpötilan määrittämistä tai jos kiinteän laakerin paikkaan tulee muutoksia	20

Laskettaessa tukien siirtymiä voidaan olettaa, että kallioperusteinen tuki ei liiku. Maanvaraisen tuen voi olettaa siirtyvän ± 10 mm tukea kohden, ja että päätytuki siirtyy vain aukkoon päin. Lisäksi paa-lutettujen tukien voi olettaa siirtyvän laskelmien mukaan ± 10 mm (9, s. 13.)

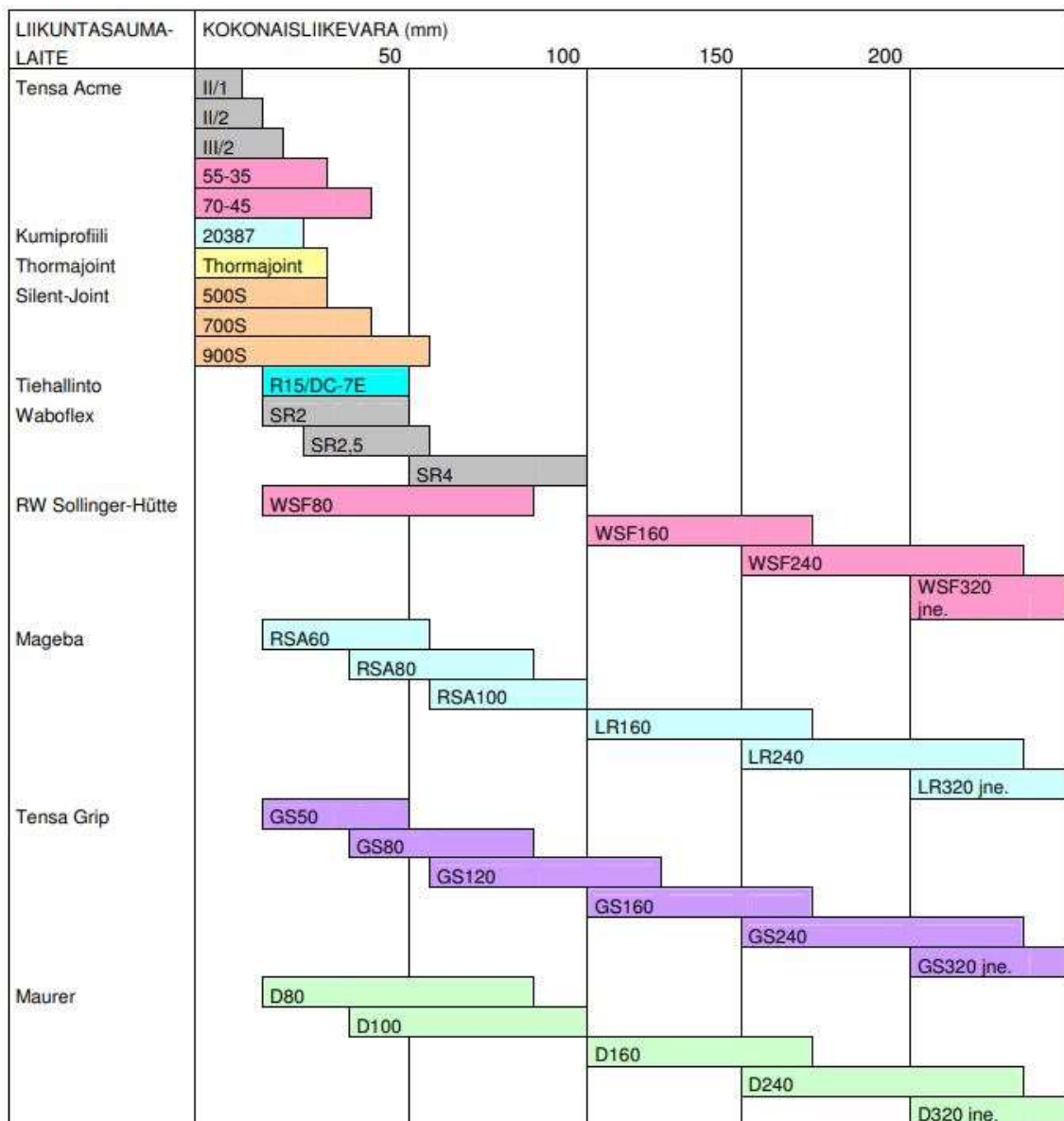
Lämpötilanmuutoskerroin kertoo, kuinka paljon rakenne laajenee, kun lämpötila muuttuu yhden as-teen verran (8). Lämpötilakuormia laskettaessa lähdetään ensin määrittämällä minimi- ja maksimi-varjot lämpötilat T_{\min} ja T_{\max} . Näihin lisäämällä NCCI1:ssä annetut sillan päällysrakenteen perus-teella määräytyvät lisäkertoimet saadaan lopulliset minimi- ja maksimilämpötilat $T_{e,\min}$ ja $T_{e,\max}$. Seuraavaksi voidaan käyttää kaavoja

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} \text{ ja } \Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0, \quad (\text{KAAVA 1})$$

joilla saadaan laskettua lämpötilanmuutokset $\Delta T_{N,\text{con}}$ sekä $\Delta T_{N,\text{exp}}$.

Näihin arvoihin lisäämällä taulukosta saatava lisävarmuusluku ΔT_0 saadaan lämpötilan muutos ΔT . Tämän jälkeen, kun kerrotaan lämpötilanmuutoskerroin α , laskettu lämpötilan muutos $\Delta_{t,\min}$ tai $\Delta_{t,\max}$ sekä pituus, joka sillassa pääsee muuttumaan, saadaan tulokseksi kokonaisliikepituus. (11.)

Kun sillan liikemäärät on saatu laskettua, voidaan valita siihen sopiva liikuntasaumalaite Väylävi-raston hyväksymien laitevaihtoehtojen joukosta. Kuva 11 esittää osan näiden Väyläviraston hyväk-symien eri liikuntasaumalaitteiden kokonaisliikevarat. Laittevaihtoehtoja on liikevaraansa yleensä aina kuitenkin useampia, ja viimekädessä tilaaja päättääkin, minkä laitteen haluaa.



KUVA 11. Liikuntasaumalaitteiden käyttöaluekaavio (12, s. 6.)

5.3 Huollettavuus ja vedenjohtolaitteet

Etenkin tilaajan kannalta merkittävä valintakriteeri liikuntasaumalaitteelle on sen huollettavuus. Väylävirasto määrittääkin, että sillan liikuntasaumalaitteet tulee valmistaa ja asentaa siten, että kuuluvat osat niistä on mahdollista myöhemmin vaihtaa tarvittaessa, ja korjaustyö tulee voida tehdä yksi ajokaista kerrallaan (13, s. 11).

Liikuntasaumalaitteista sormiliikuntasaumalaite on esimerkiksi monikumista liikuntasaumalaitetta helpompi huollettava, sillä yksittäisiä vaurioituneita sormilevyjä on mahdollista vaihtaa ilman, että koko laitetta tarvitsee purkaa. Toisaalta sormilevyt saattavat vaurioitua yksikumista liikuntasaumalaitetta herkemmin (2). Massaliikuntasauoissa huolto puolestaan koostuu liikuntasaumamassan uusimisesta entisen kuluttua tai vaurioituttua. (10.)

Yksikumisten liikuntasaumalaitteiden huoltotilanteissa on tullut vastaan tilanteita, joissa liikuntasaumalaitteen huolloksi olisi riittänyt pelkkä kumiprofiilin vaihto, mutta laitteen saumarako on ollut niin pieni, ettei uuden kumin asentaminen ole ollut mahdollista. Lisäksi teräsosiin voi olla kertynyt niin paljon ruostetta, ettei kumiprofiili asetu paikoilleen oikein. Tämän opinnäytetyön tekohetkellä talvena 2023–2024 oli Uudenmaan ELY-keskukselle suunnitteilla sillankorjauskohde, jossa yksikuminen liikuntasaumalaite joudutaan uusimaan kokonaan, koska pelkän kumiprofiilin vaihtaminen ei onnistunut. Tämän vuoksi nykyään on paljon kohteita, joissa yksikuminen liikuntasaumalaite on suosiolla vaihdettu massaliikuntasaumaksi, jonka huolto ja uusiminen on pääsääntöisesti helpompaa. (8.)

Muita liikuntasaumalaitteeseen liittyviä osia ovat erilaiset vedenjohtolaitteet. Avoimen liikuntasaumalaitteen alapuolella tulee olla joko kumimatto tai hulevesikouru liikuntasaumarakenteen läpi valuvien hulevesien keräämiseksi sekä pois johtamiseksi. Kuvassa 12 on esimerkki hulevesikourusta Mageban sormiliikuntasaumalaitteessa. Yleensä kumimatto on kiinni itse liikuntasaumalaitteessa ja on uusittavissa, mikäli vaurioita esiintyy. (4, s. 11.)



KUVA 12. Mageba TENSA-FINGER RSFD -sormiliikuntasaumalaitteen alapuolella oleva kouru hulevesille (14)

Mikäli liikuntasaumalaitteen rakenne on sellainen, että laitteen päästä pääsee purkautumaan runsaasti vettä aiheuttaen alla oleville keila- tai luiskarakenteille eroosiovaurioita, tulee liikuntasaumalaitteen päähän asentaa joko syöksytorvi tai hulevesikouru, joka mahdollistaa vesien hallitun johtamisen kuivatusjärjestelmään tai maastoon. Liikuntasaumalaitteiden mahdollisten vesivuotojen varalta uusiin siltoihin voidaan tehdä kouru laakeritason takaosaan, jonka avulla laakeritasolle valuneet vedet johdetaan maatuen etupuolelle tai sivuun. (15, s. 15.)

Liikuntasauvan vedenjohtolaitteiden kunnossapidon kannalta tärkeää on vesien johtaminen hallitusti pintavesikourujen avulla avoimen liikuntasaumalaitteen alta. Kuivatuslaitteiden toimintakykyisinä pitäminen tulee varmistaa puhdistamalla ne joka kevät ja syksy. Pintavesikourut sekä veden-

poistoputket tulee puhdistaa painepesurilla keväisin samassa yhteydessä sillan määräaikaishuolituksen kanssa, kun silta ei ole vielä laajentunut lämpötilan vuoksi pisimmilleen. Tämän lisäksi lehdet ja mahdolliset muut roskat tulee poistaa liikuntasaumalaitteista syksyisin. (16, s. 7.)

Kun kuivatuslaitteita tehdään, on tärkeää huomioida myös niiden puhdistaminen. Mikäli puhdistaminen on vaikeaa, voidaan kourun pohjalle asentaa geotekstiileihin luettava pystysalaojanauha. Se voidaan vetää kourusta pois, puhdistaa ja taas vetää takaisin paikalleen. Kaikkein hankalimmissa tapauksissa on aiheellista asentaa kourun yläpuolelle ruostumaton, reiätetty putki, jonka päähän on mahdollista liittää painevesiletku huuhtelua varten. (16, s. 7.)

5.4 Tukikaistat

Liikuntasaumalaitteiden kanssa tulee käyttää tukikaistaa, ja se luetaan osaksi liikuntasaumarakennetta. Tehtävänä tukikaistalla on suojata varsinaista liikuntasaumalaitetta esimerkiksi auras-kaluston aiheuttamilta vaurioilta. Tukikaistaa ei kuitenkaan käytetä muiden liikuntasaumojen kuin varsinaisten liikuntasaumalaitteiden kanssa. (9, s. 16.)

Tukikaistoihin käytettävälle materiaalille on useita vaihtoehtoja:

- valuasfaltti tai kumibitumivaluasfaltti
- muovikuiduilla vahvistettu kuitubetoni eli betonimuovi (PC)
- polymeerisementtibetoni (PCC)
- betoni joko raudoitettuna tai teräskuiduilla vahvistettuna
- massaliikuntasaumamassa.

Betonista valmistettujen tukikaistojen yhteydessä tulee aina käyttää kumibitumipohjaista saumamassaa betonin ja asfaltin rajapinnassa. Tartuntapinnat tulee myös käsitellä joko kumibitumilla tai saumamassan valmistajan ohjeiden mukaan. (4, s. 11.)

Tukikaistat korjataan poikkeuksetta liikuntasaumalaitteen uusimisen ja korjaamisen yhteydessä. Myös pelkän tukikaistan korjaaminen on mahdollista. Liikuntasaumalaite on suojattava valuroiskeilta ja tukikaistojen korjaukseen on käytettävä samaa materiaalia, josta tukikaistat on aiemminkin

tehty. Toki, mikäli tukikaista uusitaan kokonaan, voidaan silloin tukikaistan materiaali valita vapaasti kohteeseen sopivaksi. (4, s. 26.)

5.5 Liikuntasaumalaitteen korjaamisen kustannukset

Liikuntasaumalaitteen korjaaminen on ymmärrettävästi huomattavan paljon halvempaa kuin uusiminen täysin. Esimerkiksi kumiprofiilin vaihto itsessään maksaa arviolta noin 200 € metriltä. Toki kunnostustöissä on muitakin kuluja, kuten puhdistus-, paikkamaalaus- tai kaatojen korjauskulut sekä liikennejärjestelyistä aiheutuvat kulut. Pelkkä korjaaminen ei kuitenkaan aina riitä. Etenkin sillan peruskorjauksen yhteydessä on helpompaa uusia laite kokonaan, kun rakennetta kuitenkin puretaan ja liikennejärjestelyt on suunniteltu isomman työurakan mukaan. Uusimalla liikuntasaumalaite peruskorjauksen yhteydessä voidaan myös varmistua siitä, että laitteen ja kannen vedeneristeet saadaan tehtyä oikein. (8.)

Liikuntasaumalaitteen uusimisen kustannushaarukka on suuri, ymmärrettävästi riippuen asennettavasta laitteesta. Pelkän liikuntasaumalaitteen listahinnat asennettuna vaihtelevat alle tuhannesta eurosta jopa yli viiteen tuhanteen euroon metriltä. Tämän lisäksi kustannuksia tulee vanhan laitteen purusta ja mahdollisesta asennuspaikan muokkaamisesta. (8.)

Mahdolliset korjauskustannukset kannattaa ottaa huomioon jo uutta liikuntasaumalaitetta valittaessa. Vaikka hankintahinnassa säästäisi hankkimalla listahinnaltaan edullisemman uuden liikuntasaumalaitteen, voi sen korjaaminen tulla pitkässä juoksussa kalliimmaksi kuin investoiminen kerralla helpommin huollettavaan, kenties kalliimpaan laiteratkaisuun.

5.6 Työnaikainen asennettavuus

Kaikkia erityyppisiä liikuntasaumarakenteita korjattaessa on otettava huomioon valitulle saumatyypille ominaiset yksityiskohdat. Jokaisesta liikuntasaumarakenteen korjaustyöstä on tehtävä laatu- ja työsuunnitelma InfraRYL:n vaatimusten mukaan, ja liikuntasaumarakenteen uusimisesta on laadittava lisäksi korjaussuunnitelma. Suunnitelmat on myös hyväksyttävä joko liikuntasaumarakenteen tai koko korjaushankkeen tilaajalla tai tämän valtuuttamalla edustajalla. (4, s. 22.)

Ennen lopullista liikuntasaumalaitteen kiinnittämistä laitetta asennettaessa on tarkistettava, että liikuntasauva täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset. Tärkeimmät tarkastettavat asiat ovat:

- Asennettavan liikuntasaumalaitteen mitat: Liikuntasaumalaitteen sekä sen korjattujen tai uusittujen osien on oltava liikuntasamaan tai -saumalaitteeseen yhteensopivia.
- Korjattavan liikuntasaumalaitteen asennusennakko tulee olla valittu oikein.
- Liikuntasaumalaitteen asennusalustan on täytettävä laitekohtaiset laatuvaatimukset.
- Liikuntasauvan kohdalla sillan pituus- ja poikkisuunnan kaltevuudet on oltava suunnitelmien mukaiset sekä siltapaikalle sopivat.

Liikuntasaumalaite tulee asentaa paikoilleen laitekohtaisten ohjeiden mukaisesti. (4, s. 23.)

6 LIIKUNTASAUMALAITTEIDEN KORJAUSKOhteITA

Tässä luvussa esitellään muutaman case-esimerkin kautta sillan liikuntasaumalaitteiden korjauskohteita ja toteutusratkaisuja sekä käydään läpi valintaan vaikuttaneita asioita. Pääfokus on ensimmäisenä esiteltävässä Joutsensillassa.

6.1 Joutsensilta O-4115

Joutsensilta on 14-aukkoinen teräksinen liittopalkkisilta, johon liittyy lisäksi teräsbetoninen laattasilta. Kuvassa 13 on yleiskuva Joutsensillasta. Silta on valmistunut vuonna 1996 ja on Oulun kaupungin hallinnassa. Silta sijaitsee Oulussa Limingantullin kaupunginosassa yhdistäen Karjasillan ja Limingantullin kaupunginosat. Sillan kannen pituus on 560 metriä ja kokonaispituus peräti 620 metriä tehden Joutsensillasta Suomen pisimmän maasillan. (5.)



6.1.1 Liikuntasaumalaitteen korjaus vuonna 2015

Joutsensillalle toteutettiin liikuntasaumalaitteiden korjaus vuonna 2015. Tällöin tuen T1 yksikumisen liikuntasaumalaite uusittiin kokonaan, ja tukien T4 ja T15 liikuntasaumalaitteet korjattiin. Tuelle T1 vaihdettiin alkuperäisen yksikumisen Maurer D80B -saumalaitteen tilalle massaliikuntasaumalaite Silent-Joint 500 S. Tämä liikuntasaumalaite on edelleen vuonna 2023 hyvässä kunnossa eikä vaadi korjaustoimenpiteitä. (17, s. 15.)

Tuilla T4 ja T15 on edelleen käytössä alkuperäiset nelikumiset Maurer D320 -liikuntasaumalaitteet. Vuonna 2015 Ramboll Finland Oy:n suorittamassa kuntotarkastuksessa todettiin liikuntasaumalaitteiden kunnan heikentyneen merkittävästi edellisen talven aikana. Tuella T4 sijaitsevan liikuntasaumalaitteen reunaprofiilien havaittiin kuluneen sillalle nousevan kaistan puolelta ajourista paikoittain puhki. Tämän lisäksi liikuntasaumalaitteen kumiprofiilit olivat paikoitellen ajokaistojen kohdalla irronneet kiinnityksistään. Reunaprofiili oli kulunut sillalle nousevan eli oikean ajokaistan ajourien kohdalla alkuperäisestä noin 11 millin paksuudesta peräti kahden millin materiaalipaksuuteen, ja ohuimmissa kohdissa oli havaittavissa merkkejä muodonmuutoksista. Lisäksi ylin reunaprofiili oli kulunut puhki täysin. Kulumahdollisissa oli ollut vielä kumien ympärillä kiinni ohuet teräsplatat, jotka olivat mahdollinen vaara liikenteelle. Vasemmasta reunasta liikuntasaumalaite oli pahimmillaan kulunut profiileiltaan jopa 4 millimetriä. Irtoamia liikuntasaumalaitteen kumiprofiileissa oli myös sillalta laskevan kaistan puolella. (17, s. 4–6.)

Sillan tuella T15 oli myös liikuntasaumalaitteen yläpuoli sillalle nousevalla ajokaistalla urien kohdilta kulunut. Lisäksi kumiprofiilit olivat useista kohdista irronneet, sekä sillalta laskevalla kaistalla löytyi liikuntasaumalaitteen reunateräsprofiileista avarauskaluston aiheuttamia törmäysjälkiä. Teräsprofiilien kulumisjäljet olivat hyvin samankaltaisia kuin tuen T4 liikuntasaumalaitteessakin. Yksi erikoisimmista tuolloin havaituista vaurioista oli kumiprofiilin irtoaminen ajoratojen välistä keskisaarekkeen kohdalla. Siinä kumiprofiili oli sekä irronnut kourustaan että murtunut. Kummankaan tuen liikuntasaumalaite ei ollut tuolloin enää vesitiivis, vaan vuotojälkiä oli havaittavissa useissa kohdissa sillan alapuolella. (17, s. 6–9.)

Heinäkuussa 2015 toteutetussa korjauksessa tukien T4 ja T15 liikuntasaumalaitteista uusittiin kumiprofiilit kauttaaltaan. Lisäksi teräksiset reunaprofiilit uusittiin ajoratojen kohdalta, sekä keskiprofiilien kulutuspinnojen ainepaksuutta kasvatettiin hitsaamalla. Liikuntasaumalaitteet huoltokäsiteltiin uusimalla liukupinnat ja tukikumit sekä puhdistamalla ja paikkamaalaamalla teräsosat. Korjaustoimenpiteiden jälkeen liikuntasaumalaitteiden tukikaistat tehtiin massaliikuntasaumamassasta. (17, s. 13.)

Elokuussa 2016 WSP Finland Oy suoritti Joutsensillan liikuntasaumalaitteiden vaurioiden katselmuksen. Tuolloin havaittiin tuilla T4 ja T15 sijaitsevien liikuntasaumalaitteiden uusittujen kumiprofiilien irronneen osittain teräsprofiilista ja paikoin olevan irtoamisillaan. Tuolloin jo todettiin, etteivät liikuntasaumalaitteet olleet enää vesitiiviit, vaan sadevesi pääsi valumaan sillan alle sekä sillan kansilaatan alapintaa pitkin. Katselmuksessa arvioitiin kumiprofiilien irtoamisen johtuvan asennusvirheestä. Saumakumi ei ilmeisesti ollut asennettaessa mennyt paikoilleen kunnolla, ja asennuksen jälkeen on päässyt pullahtamaan osittain teräsprofiilista pois. Katselmuksessa kerrottiin myös, ettei kumiprofiilin irtoaminen muusta syystä ole liikuntasaumalaitteelle sallituilla liikevaroilla mahdollista. Laitteen tulisi mahdollistaa huomattavasti sallittua suurempi liike ennen kuin kumiprofiili irtoaa teräsprofiilista. Katselmuksessa myös huomautettiin, etteivät normaalit hoitotyöt voi aiheuttaa kumiprofiilin irtoamista. (1.)

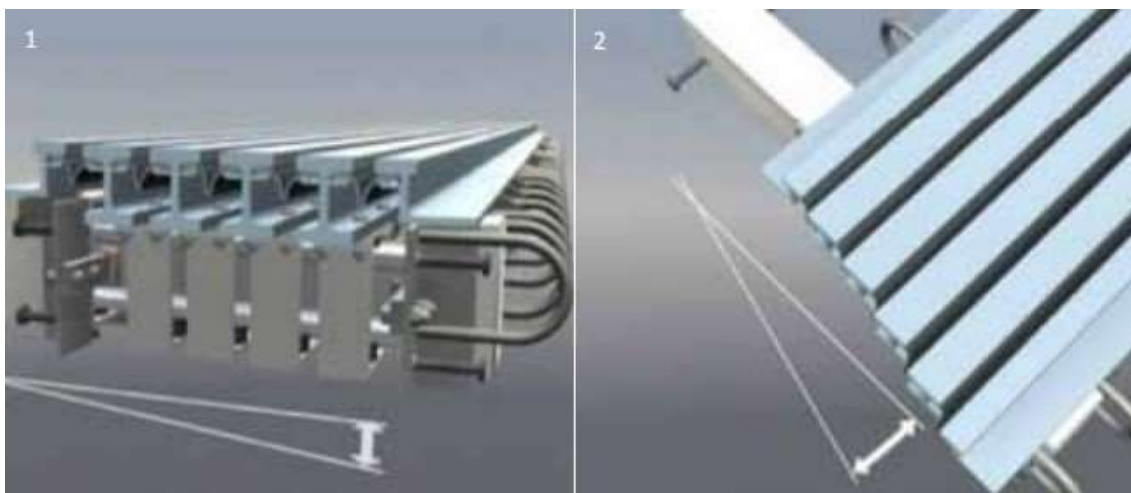
6.1.2 Nykytilanne

Liikuntasaumalaitteiden korjauksen suunnittelussa ja laitevalinnassa eräs tärkeä huomioitava asia oli, että liikuntasaumalaitteen vaihto voidaan tehdä yksi kaista kerrallaan. Joutsensilta on merkittävä väylä etenkin työmatkaliikenteelle junaradan erottamien eri kaupunginosien välillä, ja sen yli kulkee julkisen liikenteen bussivuoroja. Kiertotie olisi ollut erittäin haastava järjestää, sillä lähimmät junaradan ja ratapihan ylitys- tai alituspaikat ovat useamman kilometrin päässä.

Joutsensillan ollessa Suomen pisin maasilta, sen liikemäärät ovat myös huomattavan suuret. Joutsensillan laskennallinen kokonaispituuden muutos ääriämpötilojen välillä on 259 mm tuella T4 ja 229 mm tuella T15

Tuki T4

Limingantullin päähän joutsensiltaa, tuelle T4 suunniteltiin aluksi vaihdettavan 4-kuminen Mageba Tensa®MODULAR Type LR 4. Tuelle T4 tulee myös sivuttaisliikettä noin 8 mm sillan kaarevuudesta johtuen. Tämän vuoksi sormiliikuntasaumalaite ei soveltuisi siihen yhtä hyvin, sillä sormiliikuntasaumalaitteen ollessa ääriasennossa sormilevyt kiinni, ei sivuttaisliike ole käytännössä mahdollinen. Laitevalmistaja Mageba puolestaan lupaa nelikumiselle liikuntasaumalaitteelleen jopa 320 mm liikevaran pituussuunnassa ja ± 160 mm liikevaran poikkisuunnassa, kuten laitevalmistaja kuvassa 14 havainnollistaa (6, s. 4).



KUVA 14. Tensa®MODULAR-liikuntasaumalaitteen liikekapasiteetti pysty- ja vaakasuunnassa (6)

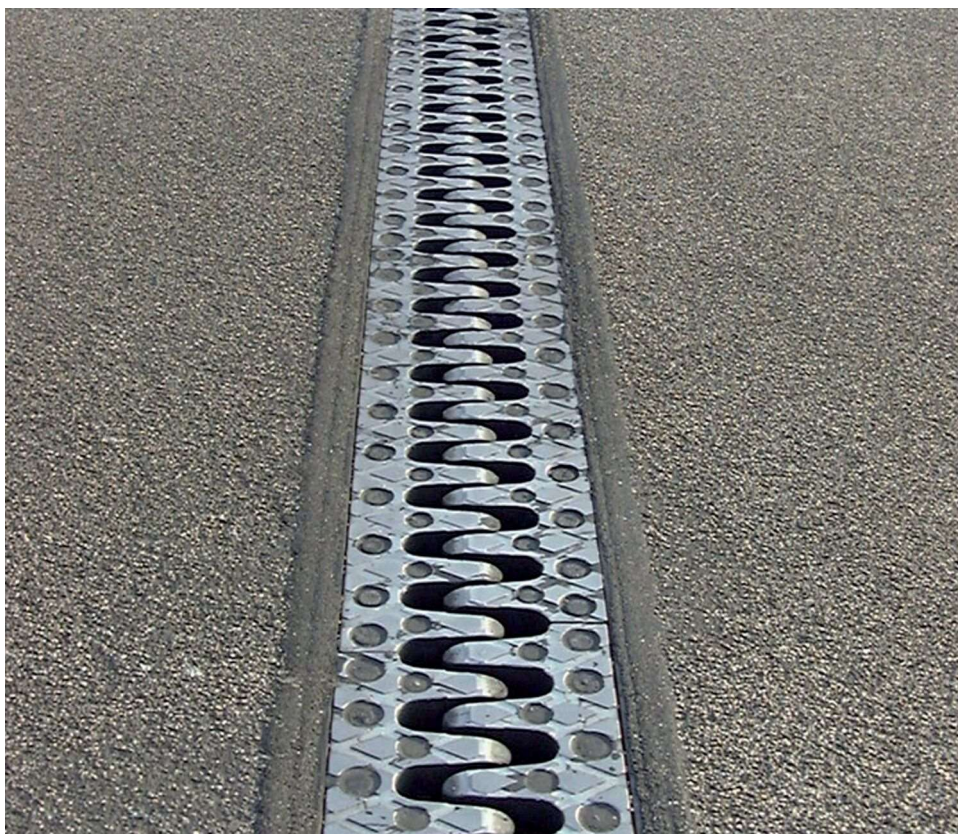
Limingantullissa tuen T4 lähistössä ei ole vakituista asutusta, vaan toimistorakennuksia ja kauppoja, joten suurta tarvetta hiljaiselle, esimerkiksi sormilevyin peitetylle liikuntasaumalaitteelle ei varsinaisesti ollut. Lisäksi vesitiiviin monikumisen laitteen puhtaanapidon koettiin tilaajan puolesta olevan helpompaa ilman sormilevyjä, joten Tensa Modular -laitteen todettiin olevan sellaisenaan kohteeseen sopivin.

Suunnittelussa kuitenkin lopulta päädyttiin valitsemaan sillan liikevaraan nähden ns. ylisuuri sormiliikuntasaumalaite Mageba Tensa®FINGER Type RSFD-A 350, joka ei tuen T4 liikemäärillä saavuttaisi ääriasentoon ja näin sivuttaisliikkeet olisivat mahdollisia lämpimälläkin. Tällä tavoin saadaan Joutsensillan molempiin päihin sormiliikuntasaumalaitteet, joista tilaajalla on hyviä kokemuksia aiemmista korjauskohteista. Sillan rakenteista tämän suuremman sormilaitteen asentaminen ei

jää kiinni, sillä varausta riittää sillekin. Lopullinen päätös sai myös vahvistuksen laitevalmistaja Magebalta, joka oli sitä mieltä, että suurempi sormiliikuntasaumalaite voisi käydä ratkaisuksi tuen T4 sivuttaisliikkeen mahdollistamiseksi. (18.)

Tuki T15

Joutsensillan Karjasillan päässä sijaitsevalle tuelle T15 on suunnittelussa päädytty vaihtamaan kuvan 15 kaltainen Mageban sormiliikuntasaumalaite TENSA®FINGER Type RSFD-A 250. Toisena vaihtoehtona harkittiin nelikumista liikuntasaumalaitetta kuten myös tuelle T4, johon asennettaisiin hiljenninlevy liikennemelun vähentämiseksi. Sormiliikuntasaumalaitteeseen päädyttiin kuitenkin siitä syystä, että sormiliikuntasaumalaite on helpompi huoltaa ja pitää puhtaana verrattuna hiljenninlevyllä peitettyn monikumiseen liikuntasaumalaitteeseen.



KUVA 15. TENSA®FINGER Type RSFD -sormiliikuntasaumalaite (14)

6.2 Erkkolansilta O-4107

Erkkolan silta on 5-aukkoinen jatkuva teräsbetonikantinen liittopalkkisilta Oulujoen yli ja on Oulun kaupungin hallinnassa. Näkymä Erkkolan sillasta on esitetty kuvassa 16. Silta sijaitsee osoitteessa Oulunsuuntie-Koivumaantie Oulussa yhdistäen Parkkisenkankaan ja Erkkolan kaupunginosat. Silan kannen pituus on 217 metriä ja kokonaispituus 233 metriä. Se on valmistunut vuonna 1988. Erkkolan sillan liikuntasaumalaitteina on yksikumiset liikuntasaumalaitteet. (5.)



KUVA 16. Erkkolan silta (5)

Erkkolan sillan liikuntasaumalaitteiden tukikaistat on kunnostettu vuosituhaten vaihteessa. Tuolloin vanhat tukikaistat poistettiin, ja tukikaistat valettiin uudestaan. Lisäksi liikuntasaumalaitteiden saumakumien raot puhdistettiin painepesulla ja harjaamalla. (19.)

Vuoden 2024 liikuntasaumalaitteiden korjauksessa on tarkoitus vaihtaa Erkkolan sillan liikuntasaumalaitteet uusiin. Nykyisten laitteiden tilalle asiakkaan kanssa vaihtoehtoja punnitessa valikoitui

Mageban TENSA@FINGER Type RSFD-A -sormiliikuntasaumalaitteet. Tärkeimpänä perusteena valinnalle on toisena vaihtoehtona ollutta Maurerin monikumista liikuntasaumalaitetta helpompi putsaus ja ylläpito. Sormiliikuntasaumalaitteet ovat myös monikumisia liikuntasaumalaitteita hiljaisemat. Tämä on eduksi, sillä Erkkolan sillan läheisyydessä on paljon asutusta. (18.)

6.3 Herttoniemen radan silta Lahdentien yli U-6068

Kuvassa 17 nähtävä Herttoniemen radan silta Lahdentien yli on ensin ajoneuvo- ja kevyen liikenteen sillaksi ja sittemmin Raide-Jokeri-hankkeen myötä kevyen liikenteen sillaksi muutettu vanha ratasilta Helsingissä. Siltaan on toteutettu peruskorjaus vuonna 2020. Sillan kannen päätysaumassa oli havaittavissa pahaa vesivuotoa ja kannen alapäässä vakavaa rapautumista niin laakeritasolla, etumuurissa, kuin siipimuureissakin. Liikuntasaumalaitteita uusittaessa tuli suunnittelussa ottaa huomioon sillan käyttötarkoituksen muutos. Tulevaisuudesta sillan korotettu kevyen liikenteen väylä mahdollisesti puretaan pois, ja näin ollen liikuntasauman suunnittelussa oli tärkeää huomioida mahdolliset muutokset pintarakenteisiin. (8.)



KUVA 17. Herttoniemen silta Lahdentien yli (5)

Ennen korjausta Herttoniemen radan sillassa oli käytössä Trelleborg ACME -puristettu saumanauha, joka ei ollut toiminut toivotulla tavalla. Lisäksi oli ilmeisesti ajateltu, ettei ratasiltaa tarvitse suolata, eli pienistä vuodoista ei olisi niin paljon haittaa. Syynä korjaukselle oli liikuntasauaman vesivuoto sillan päädyssä. Myös kannen jänneterästen ankkurointikappaleet olivat hyvin lähellä pintaa, ja osittain rapautumisen ja ruostumisen seurauksena jopa näkyvillä. (8.)

Sillan kiinteässä päässä tuella 6 liikuntasauama jätettiin puristetuksi saumanauhaksi, ja eristeitä parannettiin. Liikkuvassa päässä tuella 1 saumanauhan tilalle vaihdettiin teräsosilla vahvistettu massaliikuntasauama Silent-Joint 900 S. Haasteita liikuntasauaman valintaan toivat suuret liikepituuudet, sillä kaikki liikkeet keskittyivät sillan yhteen päähän. Sillan kannen päätysauma oli myös niin pieni, ettei siihen olisi saatu mahtumaan monikumista liikuntasauimalaitetta. (8.)

Uuden liikuntasauaman asennus oli korjaustilanteessa sujunut suhteellisen kivuttomasti. Alustavajien tasauksessa oli ollut pieniä ongelmia, sillä alapuoliset rakenteet eivät olleet vastanneet täysin

alkuperäisiä suunnitelmätietoja. Muotoiluvalua onnistuttiin säätämään työn aikana siten, että liikuntasaumalaitteelle oli saatu valettua hyvät pohjat. Uusi asennettava saumalaite oli paljon alkupe-
räistä saumanauhaa leveämpi ja näin ollen sillan reunapalkin sauma leveni huomattavasti. Tämän
vuoksi muutamaa kaidepylvästä oli jouduttu siirtämään, josta taas seurasi, että massaliikunta-
sauman ja sillankaiteen suojaverkon väliin jäi suuri rako, josta aiheutui putoamisvaara esimerkiksi
lapsille. Ratkaisuksi reunapalkkiin asennettiin suojapelti. (8.)

6.4 Halisten silta T-4020

Halisten silta, kuvassa 18, on teräsbetoninen jatkuva palkkisilta Turussa, joka ylittää Halistenkos-
ken. Vuoden 2021 peruskorjauksessa sillan yksikumiset liikuntasaumalaitteet vaihdettiin massalii-
kuntasaumoiiksi. Vauriot ennen korjausta olivat hyvin tyypilliset: liikuntasaumalaite ei ollut enää ve-
sitiivis. Liikuntasaumalaitteen kumiprofiileissa esiintyi vuotoja ja tukikaistat olivat kuluneet. Yksiku-
minen liikuntasaumalaite päädyttiin vaihtamaan massaliikuntasaumaksi. Tämä varmasti osittain
siksi, että sillan suuren KVL:n vuoksi haluttiin liikuntasaumasta johtuvaa ääntä vähentää. Toinen
todennäköinen syy laitetyypin vaihdolle on edellisen liikuntasaumalaitteen kumiprofilien uusimisen
vaikeudet. (8.)



KUVA 18. Halisten silta (5)

Vanhan yksikumisen liikuntasaumalaitteen tilalle vaihdettiin 140 mm korkea Silent-Joint 700 S. Sauman suuret liikevarat johtivat isomman saumalaitteen asennukseen. Purkaessa vanhaa liikuntasaumalaitetta saatiin olemassa olevat tartunnat ja poikkiteräkset säästettyä ja hyödynnettyä uudelleen. (8.)

7 POHDINTA JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota yhteen eri lähteiden suunnitteluohjeita ja -säädöksiä, sekä selkiyttää siltojen liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnittelua. Teoriaosaan on kerätty yhteen korjauskohteiden liikuntasaumalaitteiden valintaan vaikuttavia kriteereitä. Lisäksi työssä kerrotaan yleisimmistä liikuntasaumalaitetyypeistä ja niiden tavallisimmista vaurioista sekä vaurioitumismekanismeista.

Tietolähteiden löytäminen osoittautui hieman vaikeaksi, sillä liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnittelua käsitteleviä tekstejä on hyvin vähän etenkin suomenkielisenä. Eri laitevalmistajilta kuitenkin löytyi esitteitä ja tyyppikuvia tuotteistaan, joiden avulla ominaisuuksia oli mahdollista verrata.

Käsittelyosan case-esimerkit pohjaavat Oulun siltojen liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnitteluprojektiin, jossa olen saanut olla mukana työskennellessäni Sitowise Oy:llä. Oikeassa työelämän projektissa mukana ollessa olen oppinut valtavasti käytännön työstä, suunnittelun vaiheista sekä saanut paljon neuvoja ja tietoa työhöni.

Opinnäytetyön case-esimerkeissä toistuu tilanne, jossa yksi- tai monikumisista liikuntasaumalaitteista vaihdetaan toisenlaiseen laitetyyppiin. Ainakin Oulun seudulla sormiliikuntasaumalaitteet ovat palaamassa takaisin suosioon. Kaupungilla on positiivisia kokemuksia aiemmista korjauskohteista ja kokevat, että sormiliikuntasaumalaitteet ovat kunnossapidon kannalta parempia kuin monikumiset liikuntasaumalaitteet. Yksikumisia liikuntasaumalaitteita tunnutaan korvaavan yhä useammin massaliikuntasaumalla. Näin saadaan käyttömukavuutta nostettua varsinkin kaupunkialueella, jossa liikuntasaumalaitteen hiljaisuudella on suurempi merkitys.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin vain tiesilloissa käytettyihin pystysuuntaisten liikuntasaumojen liikuntasaumalaitteisiin ja massaliikuntasaumoihin. Esimerkiksi pienempien liikevarojen saumanauhat sekä ratasiltojen liikuntasaumaratkaisut jäivät käsittelemättä. Näidenkin korjauksesta ja valintakriteereistä olisi hyvä jatkossa koota yhteen tietoa eri lähteistä suunnittelutyön helpottamiseksi.

Tavoitteenani on vielä opinnäytetyöni pohjalta tehdä työnantajalleni Sitowiselle suunnitteluohje tiesiltojen liikuntasaumalaitteiden korjaussuunnittelua varten. Tähän uskon minulla olevan hyvät eväät nyt, kun olen saanut koottua paljon tietoa yhteen pakettiin.

LÄHTEET

1. Kettunen, Simo & Saksio, Kari 2016. Joutsensillan liikuntasaumalaitteiden vaurioiden katselmus. WSP Finland Oy.
2. Väisänen, Heikki 2024. Vanhempi suunnittelija. Sitowise Oy. Opinnäytetyön kommentit 2.3.2024.
3. Katajamäki, Sami 2018. Sillan liikuntasaumalaitteen muuttaminen massasaumaksi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 20.10.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144492/Katajamaki_Sami.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
4. SILKO 1.701 2020. Siltojen korjausohjeet, Saumarakenteet. Liikuntasauvojen korjaaminen. Helsinki: Väyläviraston taitorakenneyksikkö. Hakupäivä 20.12.2023. <https://ava.vayla-pilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1701.pdf>.
5. Taitorakennerikisteri 2017. Helsinki: Väylävirasto. Hakupäivä 21.12.2023. <https://extra-net.vayla.fi/trex/#/>. Vaatii käyttöoikeudet.
6. Mageba 2012. Mageba modular expansion joints TENSA® MODULAR Types LR and LR-LS. Sveitsi: mageba sa. Hakupäivä 12.12.2023 <https://www.mjanhunen.com/images/docs/mageba%20tensa%20modular%20expansion%20joints%20type%20lr-ls.pdf>.
7. Husso, Ari, Jussila, Antti & Rytönen, Antti 2018. Massaliikuntasaumavaurioselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 7/2018. Helsinki: Liikennevirasto. Hakupäivä 25.1.2024 https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/157644/LTS%2007-2018_978-952-317-573-0.pdf?sequence=1.
8. Väisänen, Heikki 2023. Vanhempi suunnittelija. Sitowise Oy. Sähköpostihaastattelu 21.12.2023.
9. Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun 2019. Helsinki: Väylävirasto. Hakupäivä 1.12.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-04_toss_web.pdf.
10. Lundgren, Hannu-Pekka 2023. Ryhmäpäällikkö. Sitowise Oy. Sähköpostihaastattelu 19.12.2023.
11. Lundgren, Hannu-Pekka 2023. O-4115 Joutsensilta, Liikuntasaumalaitteiden korjaus. MathCad laskelmat 12.4.2023.

12. SILKO 3.711 2009. Siltojen korjausohjeet, Saumarakenteet. Liikuntasaumalaitteet. Helsinki: Tiehallinto. Hakupäivä 19.12.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio3/s3711_09.pdf.
13. SYL 7, Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, varusteet ja laitteet 2005. Helsinki: Tiehallinto. Hakupäivä 19.12.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/syl/syl7_2005v.pdf.
14. Mageba 2023. TENSA-FINGER RSFD. Sveitsi: mageba-group. Hakupäivä 18.12.2023 <https://www.mageba-group.com/global/en/1026/Industry/Expansion-joints/TENSA-FINGER-RSFD/Detail.htm?MAGEBA=111c7f490665f00e4ae9af7123d3d4f3>.
15. SILKO 1.601 2018. Siltojen korjausohjeet, Kuivatuslaitteet. Sillan ja siltapaikan kuivatus. Helsinki: Väyläviraston taitorakenneyksikkö. Hakupäivä 5.12.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf.
16. SILKO 2.615 1988. Siltojen korjausohjeet, Kuivatuslaitteet. Liikuntasauaman ja laakeritason vedenjohtolaitteiden teko. Helsinki: Väyläviraston taitorakenneyksikkö. Hakupäivä 5.12.2023 <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2615.pdf>.
17. Kjellman, Jouko 2015. Joutsensillan liikuntasaumalaitteiden tarkastusraportti ja korjaustyöselitys. Oulun kaupunki.
18. Lundgren, Hannu-Pekka 2023. Kokousmuistio. Oulun kaupungin siltojen korjaussuunnittelu 2023, Suunnittelukokous 1. 11.10.2023.
19. Oulun kaupunki 1999. Erkkolan sillan liikuntasaumalaitteiden kunnostus. Työselitys.

