



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), rakennustekniikan koulutus

# Eksoskeletonien hyödyntäminen sillan rakennus- ja korjaustyö- mailla

Teemu Wilen

Opinnäytetyö, tammikuu 2025

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



OPINNÄYTETYÖ  
Tammikuu 2025  
Rakennusteniikan koulutus

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Teemu Wilen

Nimeke  
Eksoskeletonien hyödyntäminen sillan rakennus- ja korjaustyömailla

Toimeksiantaja  
Destia Oy / Markku Savola

#### Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Suomen markkinoilla olevia eri eksoskeleton malleja ja löytää parhaat mallit, joista on hyötyä sillan rakennus- ja korjaustyömailla. Tavoitteena oli lisäksi selvittää, mikä tai mitkä eksoskeletonit opinnäytetyön toimeksiantajayrityksen eli Destia Oy:n kannattaisi hankkia itselleen. Opinnäytetyön aihe heräsi työelämän tarpeesta.

Tutkimusaineisto kerättiin järjestämällä Hiltin, Meditaksen ja Festoolin eri eksoskeleton malleille työmaatestit. Testien jälkeen eri eksoskeleton mallien sopivuudesta siltatyömailla kerättiin tietoa haastattelemalla tutkimukseen osallistuneita timpureita. Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen ja sen tulokset analysoitiin aineistolähtöisen sisällönanalyysin päävaiheita hyödyntämällä.

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että testattujen eksoskeletonien avulla voidaan vähentää työn fyysistä kuormitusta siltatyömailla. Tutkimuksen avulla saatiin lisäksi selville, että siltatyömailla soveltui testatuista eksoskeletoneista parhaiten Hiltin EXO-S sekä Meditaksen maahantuoma Auxivon LiftSuit.

Jatkotutkimusmahdollisuuksiksi ehdotetaan muun muassa sitä, että eksoskeletoneja testattaisiin useammalla eri rakennusalan ammattiryhmällä, jolloin saataisiin selville niiden mahdollinen laajempi tarve. Näin ollen eksoskeletoneilla voitaisiin mahdollisesti vähentää työn kuormittavuutta myös muissa rakennusalan ammattiryhmissä ja tätä kautta lisätä rakennusalan työhyvinvointia laajemmin. Jatkotutkimuksilla voitaisiin lisäksi selvittää ulkomailta käytössä olevien eksoskeletonien soveltuvuutta rakennusalalle.

Kieli  
suomi

Sivuja 32  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 2

Asiasanat  
Eksoskeleton, siltatyömaa, tuki- ja liikuntaelinsairaudet



THESIS  
January 2025  
Degree Programme in Construction Engineering  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Teemu Wilen

Title  
Utilization of Exoskeletons in Bridge Construction and Repair Sites

Commissioned by  
Destia Oy / Markku Savola

#### Abstract

The purpose of this thesis was to examine the different exoskeleton models available on the Finnish market and identify the best models that can be beneficial for bridge construction and repair sites. The objective was also to assess which exoskeleton(s) would be most suitable for the commissioning company of the thesis, Destia Oy, to acquire. The topic of the thesis arose from a practical need in the working life.

The research material was collected by organizing worksite tests for different exoskeleton models from Hilti, Meditas, and Festool. Following the tests, information regarding the suitability of the different exoskeleton models for bridge worksites was gathered through interviews with carpenters who participated in the study. The research is qualitative in nature and its results were analysed using the main phases of data-driven content analysis.

Based on the results of the study, it can be concluded that the tested exoskeletons can reduce physical strain at bridge worksites. Furthermore, the research revealed that the Hilti EXO-S and Auxivo LiftSuit imported by Meditas were the best suited among the tested exoskeletons for bridge worksites.

As potential avenues for further research, it is suggested that exoskeletons be tested with a broader range of professional groups in the construction industry to determine their possible wider applicability. This could potentially reduce work strain in other construction professions as well, thereby contributing to improved occupational well-being across the industry. Additionally, further studies could explore the suitability of exoskeletons currently used abroad for the construction sector.

Language  
Finnish

Pages 32  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

#### Keywords

Exoskeleton, bridge construction site, musculoskeletal disorders (MSDs)

# Sisältö

1	Johdanto .....	3
2	Eksoskeleton .....	4
2.1	Yleisesti eksoskeletoneista .....	4
2.2	Tuki- ja liikuntaelinsairaudet.....	5
2.3	Suomen markkinoilla olevien eksoskeletonien valmistajat ja maahantuojat.....	6
2.3.1	Hiltin eksoskeletonit .....	6
2.3.2	Meditaksen eksoskeletonit.....	8
2.3.3	Festoolin eksoskeletonit .....	11
2.4	Tyypillisimpiä tuki- ja liikuntaelinsairauksia aiheuttavia työvaiheita siltatyömailla .....	11
2.5	Aiemmat tutkimukset eksoskeletoneista .....	14
3	Tutkimuksen toteutus.....	16
3.1	Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset .....	16
3.2	Tutkimusmenetelmä .....	16
3.3	Tutkimusaineiston keruu ja kohderyhmä .....	18
3.4	Tutkimusaineiston analysointi.....	18
4	Opinnäytetyön tekemisen kuvaus .....	20
4.1	Taustatiedon keruu eksoskeletoneista ja toimistotestit .....	20
4.2	Eksoskeletonien testaus työmailla .....	20
4.3	Testausten jälkeinen haastattelu ja käyttökokemusten selvittäminen .....	22
5	Tulokset .....	23
5.1	Eksoskeletonien hyödynnettävyys siltatyömailla.....	23
5.2	Siltatyömaiden työtehtävistä aiheutuvan rasituksen vähentäminen eksoskeletonien avulla.....	24
5.3	Destialle hankittavat eksoskeletonit .....	25
6	Pohdinta.....	27
6.1	Johtopäätökset .....	27
6.2	Eettisyys ja luotettavuus .....	28
6.3	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	29
	Lähteet.....	30

## Liitteet

Liite 1 Apukysymyksiä koehenkilöille

Liite 2 EKS@ - Eksoskeletonin hyötyjen arviointityökalu kädet hartiatason yläpuolella tehtävässä työssä

## Käsiteluettelo

Eksoskeleton	Päälle puettava apuväline, joka auttaa kehoa mekaanisesti esimerkiksi raskaissa nostoissa sekä työskennellessä kädet hartialinjan yläpuolella (Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2020).
Timpuri	Rakennustyöntekijä, joka on erikoistunut työskentelemään erityisesti puurakenteiden parissa sekä tekemään asentamiseen liittyviä töitä.
Tule-sairaudet	Eri luiden, lihasten, nivelten ja jänteiden sairaudet (Peda.net).
EXO-S	Hiltin eksoskeleton, joka keventää mekaanisesti niskan ja hartioiden kuormitusta, kun työskennellään olkapään yläpuolella (Hilti 2024a).
EXO T-22	Hiltin eksoskeleton, joka on selkään puettava työkalun kannattelijä akkukäyttöisellä painon jakajalla (Hilti 2024b).
ExoActive	Festoolin eksoskeleton, joka on päälle puettava akulla ja paineilmalla toimiva eksoskeleton. Laite keventää niskan, olkapäiden ja hartioiden kuormitusta, kun työtä tehdään olkapään yläpuolella. (Festool 2024.)
LiftSuit	Auxivon eksoskeleton, joka on päälle puettava liivi. Laite antaa kevennystä maasta tehtäviin nostoihin ja samalla tukee nostajan selkää. (Laine 2024.)
DeltaSuit	Auxivon eksoskeleton, joka on päälle puettava liivi. Keventää niskan ja hartioiden rasitusta, kun työskennellään olkapään yläpuolella. (Laine 2024.)
OmniSuit	Auxivon eksoskeleton malli, joka on mekaanisesti toimiva päälle puettava liivi. Laite keventää niskan ja hartioiden rasitusta, kun työskennellään olkapään yläpuolella tai nostetaan tavaraa maasta. Tukee lisäksi selkää ja hartioita. (Laine 2024.)
Hapo	Ergosanten valmistama eksoskeleton, joka tukee selkää ja helpottaa maasta tehtävää nostamista (Meditas 2024b).
ESKA	Destian urakoima Espoon kaupunkiratahanke.
EKS@	Työterveyslaitoksen luoma käytettävyysskyselylomake, jolla arvioidaan eksoskeletonin soveltuvuutta tehtävään työhön (Mänttari, Halonen, Karkulehto, Rauttola, Säjänjäkangas & Oksa 2021).

# 1 Johdanto

Rakennusalan fyysiseen kuormitukseen on pyritty löytämään erilaisia ratkaisuja, joiden avulla työn tekoa voitaisiin helpottaa. Fyysisen kuormituksen vähentäminen on tärkeää, sillä sen avulla voidaan vaikuttaa muun muassa sairaspöissa-olojen määrän vähenemiseen sekä työn tehokkuuden lisääntymiseen. Yksi ratkaisu työn fyysisen kuormituksen vähenemiseen on ulkoiset tukirangat eli eksoskelelonit. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin rakennusalaalla hyödynnettäviin eksoskeleloneihin sekä niiden valmistajiin ja maahantuojiin Suomen markkinoilla.

Opinnäytetyön aiheeksi on rajattu eksoskelelonien hyödyntäminen sillan rakennus- ja korjaustyömailla. Työn tavoitteena on selvittää, mistä eksoskelelon malleista olisi hyötyä siltatyömailla työn kuormituksen vähenemisen näkökulmasta. Opinnäytetyön avulla halutaan lisäksi selvittää, mitkä eksoskelelon mallit työn toimeksiantajayrityksen eli Destia Oy:n kannattaisi hankkia itselleen. Tutkimus toteutettiin järjestämällä työmaatestit Hiltin, Meditaksen ja Festoolin eksoskeleloneille, jotka soveltuivat siltatyömaille. Kun eksoskelelonit saatiin testattua, haastateltiin niitä testanneita timpureita avoimen haastattelun keinoin, jolloin hyödynnettiin myös Työterveyslaitoksen kehittämää eksoskelelonin hyötyjen arviointityökalua. Lopuksi tutkimustulokset analysointiin laadullisen sisällönanalyysin kolmea päävaihetta hyödyntämällä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Destia Oy. Se on Suomen suurin infra- alan palveluyhtiö, jonka liikevaihto oli viime vuonna 640,6 miljoonaa euroa. Yrityksen palveluksessa työskentelee noin 1700 rakennusalan osaajaa. Destia on osa ranskalaista kansainvälisesti toimivaa Colas-konsernia, joka työllistää kokonaisuudessaan 65 000 henkilöä. Destian palveluihin kuuluu energia- ja teollisuuspalvelut, rata- ja kaupunkipalvelut, väylä- ja asiantuntijapalvelut sekä kunnossapitopalvelut.

## 2 Eksoskeleton

### 2.1 Yleisesti eksoskeletoneista

Monissa tutkimuksissa (mm. Wærsted, Koch & Veiersted 2020; Barthelme, Sauter, Mueller & Liebers 2021) on saatu selville, että ylöspäin työskentely on kuormittavaa erityisesti hartioille, olka- ja kyynärvarsille sekä käsille. Ylöspäin työskentelyllä tarkoitetaan sitä, kun työskennellään kädet hartialinjan yläpuolella. Tällainen työskentely altistaa monille tuki- ja liikuntaelinsairauksille sekä laskee työn tehoa. Ongelmaa ei ole saatu täysin ratkaistua korjaamalla esimerkiksi työergonomiaa tai huolehtimalla riittävästä työn tauottamisesta. Näin ollen on kehitetty ulkoinen tukiranka eli eksoskeleton, joka keventää ylöspäin työskentelyn aiheuttamaa kuormitusta. (Työterveyslaitos 2020.)

Eksoskeletonit ovat päälle puettavia apuvälineitä, jotka auttavat kehoa mekaanisesti esimerkiksi raskaissa nostoissa sekä silloin, kun työskennellään kädet hartialinjan yläpuolella (Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2020). Malleja on kehitetty eri käyttötarkoituksiin, kuten parantamaan puristusvoimaa, keventämään nostotyötä sekä vähentämään lihasrasitusta ylävartalossa (Meditas 2024a). Suomen ulkopuolella on käytössä myös malleja, jotka auttavat esimerkiksi kävelyn uudelleen oppimisessa vakavan loukkaantumisen jälkeen (Ekso Bionics 2024). Suomessa eksoskeletoneja on tällä hetkellä käytössä aloilla, joissa keholle muodostuu kovaa fyysistä rasitusta. Tällaisia aloja ovat esimerkiksi terveydenhoito-, teollisuus- ja rakennusala. Eksoskeletonien käyttö on lisääntynyt Suomessa merkittävästi kuitenkin vasta viime vuosien aikana, sillä ensimmäiset eksoskeletonit ovat tulleet Suomessa markkinoille vuonna 2019. (Saarinen 2024.) Tämän vuoksi lisätutkimus eri eksoskeleton mallien hyödyistä on tarpeen.

Vaikka eksoskeletonit ovat olleet Suomen markkinoilla vasta noin viiden vuoden ajan, niistä on nykyään tarjolla monia erilaisia malleja (Saarinen 2024). Suomen markkinoille on ilmestynyt rakennusalalla hyödynnettäviä eksoskeletoneja muutamalta eri valmistajalta ja maahantuojayritykseltä. Rakennusalalle soveltuvia eksoskeletoneja Suomessa valmistaa tai maahantuo Hilti, Meditas ja Festool.

## 2.2 Tuki- ja liikuntaelinsairaudet

Tuki- ja liikuntaelinsairauksilla tarkoitetaan eri luiden, lihasten, nivelten ja jänteiden sairauksia (Peda.net). Näistä tuki- ja liikuntaelinten sairauksista käytetään lyhennettä ”tule-sairaudet” tai ”tules”. Tule-sairaudet kehittyvät pitkällä aikavälillä rasituksen seurauksena aiheuttaen toimintakykyä hankaloittavia kiputiloja. Ne aiheuttavat Suomessa myös eniten sairauspoissaoloja töistä ja ovat suomalaisten yleisin syy lääkärissä käyntiin. (Tuki- ja liikuntaelinliitto Tule ry 2024.) Näin ollen ”Tuki- ja liikuntaelinsairaudet kuuluvat suomalaisten kansantauteihin.” (Lehtinen 2022) eli ne vaikuttavat merkittävästi koko kansan terveyteen (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2023). Suomen väestöstä jopa 1.7 miljoonaa ihmistä kärsii vakavista tuki- ja liikuntaelinongelmista, joiden takia he joutuvat olemaan sairauslomalla töistä. Nämä sairauslomapäivät ovat Suomelle sekä Suomessa toimiville yrityksille suuri kuluerä, sillä esimerkiksi vuonna 2019 sairauspäivärahoja näistä sairauksista maksettiin 255 miljoonaa euroa. (Työterveyslaitos 2020.)

Tuki- ja liikuntaelinsairauksien suurimpia riskitekijöitä ovat fyysinen työ, jossa esiintyy esimerkiksi raskaita nostoja, toistuvia voimakkaita liikkeitä, hankalia työskentelyasentoja sekä pitkiä työaikoja (Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2024). Tule-sairauksia on kuitenkin olemassa paljon. Osa niistä voi olla muun muassa ohimeneviä rasitusvammoja ja osa taas puolestaan vakavampia, kuten nivelrikko. Selkä-, niska- ja hartiavaivat ovat perinteisiä työperäisiä tuki- ja liikuntaelinsairauksien vaivoja, jotka voivat johtua esimerkiksi virheelisestä työskentelyasennosta. (Lehtinen 2022.)

Rakennusala on Suomessa kärkipäässä tule-sairauksien esiintyvyyden näkökulmasta tarkasteltuna (Sosiaali- ja terveysministeriö 2007; Suomen Nivelyhdistys ry 2024). Tämä johtuu rakennusalan työn vaativuudesta, jossa tule-sairauksia aiheuttavia riskitekijöitä esiintyy runsaasti. Rakennusalalla työ on nopeatahtista, siihen liittyy toistuvia raskaita nostoja ja liikkeitä sekä työskentelyä hankalissa staattisissa asennoissa. Työn fyysistä rasitusta esiintyy yleensä eniten rakennustyöntekijöillä, mutta työtä hankaloittavia tule-sairauksia on myös työnjohdotyöntekijöillä. Tule-sairauksien hoitoa on lisätty rakennusalalla esimerkiksi fysioterapeutin palveluilla sekä panostamalla hyvään työterveyshoitoon. (Rakennusliitto 2024.) Vuonna 2020 tehdyn Kelan työterveyshuoltotilaston mukaan



rakennusalalla työskentelevät käyttivät kyseisenä vuonna työterveyshoidon palveluja 4,5 % keskimääräistä enemmän (Nissinen 2023). Vaikka rakennusalalla on panostettu fysioterapeutin palveluihin sekä hyvään työterveyshoitoon, tästä huolimatta tule-sairauksien määrä tulisi saada laskemaan. Näin rakennusalan työntekijöille voitaisiin taata paremmat olosuhteet työskennellä, sillä Sosiaali- ja työterveysministeriön (2007) mukaan ”Työ on voitava tehdä aiheuttamatta työntekijän terveydelle haitallista tai vaarallista kuormitusta.”.

Tule-sairauksien ehkäisyyn on yritetty löytää monia erilaisia ratkaisuja. Viime vuosien aikana Suomessakin käyttöön otetut eksoskeletoinit on kehitetty toimimaan yhdessä ihmisen tuki- ja liikuntaelimestön kanssa eli niin sanottuna ulkoisena tukirankana (Asikainen 2021). Laitteet tukevat kehoa vaikeissa työasenoissa ja keventävät fyysistä rasitusta raskaissa nostoissa nostoen suorituskykyä (Asikainen 2021). Eksoskeletoinit pystyy siis nostamaan työskentelyn tehoa ja samalla ehkäisemään tuki- ja liikuntaelinsairauksia parantamalla työergonomiaa. Fyysisessä työssä eksoskeletoineja käyttämällä voidaan parhaimmillaan vähentää sairauspoissaoloja ja tehdä työn teosta helpompaa. (Skeleton.fi 2024.) Sairauksia vähentämällä voidaan parantaa työntekijöiden elämänlaatua sekä tuoda myös rahallisesti suuria säästöjä Suomen valtiolle sekä yrittäjille (Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2024).

### **2.3 Suomen markkinoilla olevien eksoskeletoinien valmistajat ja maahantuojat**

Suomen markkinoilla on tällä hetkellä helposti saatavilla kolmen eri eksoskeletoineja valmistavan tai maahantuovan yrityksen laitteita. Näitä yrityksiä ovat Hilti, Meditas ja Festool. Näiden kolmen valmistajan tai maahantuojan laitemalleista löytyy myös siltatyömaille soveltuvia eksoskeletoineja. (Savola 2024.)

#### **2.3.1 Hiltin eksoskeletoinit**

Hiltillä on tällä hetkellä Suomessa mallistossaan kaksi erilaista eksoskeletoinia, jotka he valmistavat itse. Näitä voi hankkia joko tilaamalla heidän nettikaupastaan tai ottamalla yhteyttä oman alueen Hiltin myyjään. (Mäkinen 2024.) Toinen

Hiltin malleista on päälle puettava EXO-S hartioiden eksoskeleton (kuva 1), joka keventää mekaanisesti niskan ja hartioiden kuormitusta, kun työtä tehdään olkapäälinjan yläpuolella. Laitteen luomaa avustusta voidaan säätää eri tasolle laitteessa olevalle säätöruuvilla. Tuotetta on kahta eri kokoa eli se on saatavilla joko normaalikokoisena tai suurena. Molemmat tuotteet painavat 2,4 kiloa ja soveltuvat hyvin kokopäiväiseen käyttöön. Hintaa laitteella on 1470,59 euroa sen koosta riippumatta. (Hilti 2024a.)



Kuva 1. EXO-S hartioiden eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

Toinen Hiltin eksoskeleton malli on akulla toimiva EXO-T-22 (kuva 2). Laite on suunniteltu raskaan työkalun kannatteluun purku- ja poraustöissä. Laite painaa 7,75 kiloa ja pystyy kannattelemaan enintään 17 kilon kuormaa. Laitteessa on kauko-ohjain, jonka avulla työkalua kannattelevaa vaijeria voidaan ohjata korkeussuunnassa käyttäjän haluamalle korkeudelle. Laitteella on hintaa 3500 euroa. Tämän lisäksi laitteeseen tarvitaan siihen sopiva akku sekä laturi, joita Hiltillä on myös saatavilla. Akku kustantaa 316,11 euroa ja laturi puolestaan 168,82 euroa (Hilti 2024b.)



Kuva 2. EXO-T-22 eksoskeletonin testausta Destian toimipisteellä Turussa 10.9.2024 (Kuva: Teemu Wilen).

### 2.3.2 Meditaksen eksoskeletonit

Meditas Oy maahantuo yhteensä kahtatoista eri eksoskeleton mallia. Laitteita on suunnattu rakennus-, teollisuus- ja terveydenhoitoalalle. Meditaksen Minna Laineen mukaan rakennusalalle suunnattuja eli tässä tutkimuksessa hyödynnettäviä laitteita heiltä löytyy viisi. Kyseisiä laitteita ovat hollantilainen Skelex 360, ranskalainen Ergosanten Hapo sekä sveitsiläiset Auxivon OmniSuit, DeltaSuit sekä LiftSuit. (Laine 2024.)

Ergosanten valmistama Hapo eksoskeleton (kuva 3) on selkää tukeva ja nostamista helpottava eksoskeleton. Se toimii komposiitista valmistetuiden kiskojen avulla, jotka tulevat käyttäjän kehon ulkopuolelle. (Meditas 2024b.) Laitteen antamaa tukea pystyy säätämään halutulle tasolla yhdestä kilosta neljääntoista kiloon. Hapolla on hintaa 1900 euroa. (Laine 2024.)



Kuva 3. Hapo eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

Auxivon OmniSuit (kuva 4) on myös mekaanisesti toimiva päälle puettava liivi, mutta siinä on lisäksi kiristysremmit jaloille. Se keventää niskan ja hartioiden rasitusta, kun työskennellään olkapäälinjan yläpuolella tukien samalla selkää. Laitteessa oleva tuki alaselälle keventää kuormaa nostoissa. Laite painaa 2,7 kiloa ja ylöspäin työskenneltäessä se keventää 4 kiloa kättä kohden. Laitteella on hintaa 3140 euroa. (Laine 2024.)



Kuva 4. Auxivo OmniSuit eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

Auxivo DeltaSuit (kuva 5) on uudempi versio Auxivon OmniSuit eksoskeleto-  
nista (Auxivo 2024b). Se toimii kuten OmniSuit eli mekaanisesti ilman akkua ke-  
ventäen niskan ja hartioiden rasitusta, kun työskennellään olkapäälinjan yläpuo-  
lella. DeltaSuit eroaa OmniSuitista siten, että siinä ei ole remmejä jaloille, jolloin  
se ei tue alaselkää. OmniSuit ei auta käyttäjäänsä myöskään maalla

tapahtuvissa nostoissa. DeltaSuit painaa 2 kiloa keventäen ylöspäin työskennellessä 4 kiloa kättä kohden. Laitteen antamaa tukea voidaan säätää halutulle voimakkuudelle työn kuormittavuuden mukaan. Myös tämä malli soveltuu kokopäiväiseen käyttöön. (Laine 2024.)



Kuva 5. Auxivo DeltaSuit eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

Auxivolta löytyy näiden lisäksi LiftSuit eksoskeleton (kuva 6), joka on Hapo eksoskeletonin kaltainen selkää tukeva ja nostamista helpottava malli. LiftSuit painaa vain yhden kilon ja toimii mekaanisesti sen selkäpuolella olevien josten avulla. Myös LiftSuitin antamaa avustusta voi säätää halutulle tasolle. Lisäksi se ohjaa käyttäjänsä automaattisesti nostotilanteissa hieman etukenoon ja selän oikeaan nostoasentoon vähentäen noston aiheuttamaa rasitusta. LiftSuitilla on hintaa 990 euroa. (Laine 2024.)



Kuva 6. Auxivo LiftSuit eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

### 2.3.3 Festoolin eksoskeletonit

Festoolilla on Suomessa myynnissä yksi eksoskeleton malli eli ExoActive (kuva 7). Se on päälle puettava akulla ja paineilmalla toimiva eksoskeleton. ExoActive antaa käyttäjälleen lisävoimaa työskennellä olkapäälinjan yläpuolella niskojen, hartioiden ja käsivarsien väsyessä. Laitteen antamaa avustusta voidaan säätää viidestä eri tasosta halutulle voimakkuudella laitteessa olevan kaukosäätimen avulla. Laite painaa seitsemän kiloa ja tarvitsee toimiakseen 18 voltin akun. Tuentatehoa laitteella on maksimissaan viisi kiloa kättä kohden. ExoActive maksaa 3200 euroa ja kahden akun sekä laturin kanssa 3500 euroa. (Säkkinen 2024.) Laitetta on saatavilla Suomessa Festool Vantaan myymälästä, verkko-kaupasta sekä muutamalta jälleenmyyjältä Helsingissä, Turussa ja Jyväskylässä (Festool 2024).



Kuva 7. Festoolin ExoActive eksoskeleton (Kuva: Teemu Wilen).

## 2.4 Tyypillisimpiä tuki- ja liikuntaelinsairauksia aiheuttavia työvaiheita siltatyömailla

Siltoja korjattaessa ja rakennettaessa esiintyy paljon raskaista työvaiheita, jotka altistavat työntekijän erilaisille tuki- ja liikuntaelinsairauksille. Tällaisia työvaiheita ovat esimerkiksi työtelineiden teko ja asennus, sillan laakereiden asennus tai kunnostaminen, purku-, muotti-, raudoitus- ja valutyöt sekä siltojen vaurioiden paikkaus ja siivoustyöt.

Sillan rakentamista sekä korjausta varten sillalle tarvitaan työtelineet. Telineet rakennetaan mitoituskuormituslaskelmien pohjalta luodun telinesuunnitelman mukaan. Sillan telineet voidaan tilata aliurakkana telinefirmalta tai rakentaa itse. Telineyöskentely on fyysisesti kuluttavaa, sillä telinetavaraa tai telineiden rakentamiseen tarvittavaa materiaalia on yleensä telinesuunnitelmissa paljon. (Rakennustieto 2000.) Tavaroiden nosteleminen, kantaminen ja paikalleen asentaminen on kuormittavaa sekä se sisältää yleensä paljon työskentelyä olkapäälinjan yläpuolella. Teline työ on ensimmäisiä varsinaisia työtehtäviä ennen sillan rakentamisen tai korjauksen aloittamista, jolloin rakennusurakoitsija voisi hyötyä eksoskeletonista, mikäli se nopeuttaisi telineiden rakennusta.

Korjattavissa silloissa uusitaan yleensä reunapalkit, sillan alusrakenteet, maatuet sekä kansi. Uusittavat rakenteet puretaan usein käyttämällä vesipiikkausta, jossa vettä ruiskutetaan kovalla paineella purettavaan betonirakenteeseen. Vesipiikkauksen apuna käytetään käsikäyttöistä purkukalustoa, kuten piikkausvasaraa. Tätä käytetään, kun purkuvaiheessa päästään lähelle ehjäksi jäävää rakennetta. (Väylävirasto 2008a.) Tehokkaat ja suuret piikkausvasarat painavat yli 10 kiloa (K-rauta 2024), jonka vuoksi niiden pitteleminen pitkiä aikoja alaspäin tai vaaka ja pysty suunnassa on keholle raskasta. Sillan rakenteiden purkamiseen liittyy olennaisesti myös purkujätteen siivoaminen. Terästä sisältävien betonilohkoreiden ja muun kiviaineksen siivoaminen lapiolla ja harjalla on fyysisesti vaativaa työtä. (Väylävirasto 2008a.) Purkuvaiheen töissä työntekijä hyötyisi laitteesta, joka vähentäisi työtehtävien aiheuttamaa fyysistä kuormitusta. Näin ollen epämiellyttävä ja raskas työvaihe saataisiin tehokkaammin valmiiksi.

Rakenteen purkamisen jälkeen alkaa korjaustyö, jossa purettu rakenne tehdään uudestaan esimerkiksi valamalla purettu betonirakenne uudelleen, paikkamalla paikkauslaastilla tai ruiskubetonoinnilla. Korjaustyövaiheita varten sillan korjattavaan rakennosaan lisätään tartuntatankoja. Tartuntatangon tehtävänä on ankkuroida uusi rakenne kiinni vanhaan rakenteeseen ja siirtää kuormia siihen. Tartuntatangot juotetaan ankkurointimassalla sillan rakenteeseen porattuihin reikiin. Reiät porataan poravasaralla tai kallioporakoneelle. Reikiä sijaitsee pysty sekä vaakasuunnassa, jolloin porausasennot ovat haastavia ja näin ollen

painavan poran kannattelu kuormittaa työntekijän tuki- ja liikuntaelimiä. (Väylävirasto 2016.)

Raudoitustyöt ovat yksi siltatyömaiden raskaimpia työvaiheita. Ne tehdään rakennesuunnittelijan laatimien raudoitussuunnitelmien mukaan, jotka pohjautuvat sillan kantavuuslaskelmiin. Siltoihin tuleva tai uusittava raudoitus voi sisältää suuria määriä harjaterästä, jolloin terästen asennus on paikoin haasteellista ahtaisten tilojen vuoksi. (Väylävirasto 2009.) Harjaterästangot ovat tyypillisesti kuusi tai 12 metriä pitkiä ja suurimmassa käytössä olevat halkaisijaltaan 10–32 millimetriä paksut harjaterästangot painavat noin kilon metriä kohden (Nordic Rebar 2023). Harjaterästankojen kantaminen, nostaminen ja paikalleen asentaminen kuormittaa työntekijän ylävartalon lihaksia, sillä raudoitustyöt kestävät tyypillisesti päiviä tai jopa viikkoja.

Seuraavana työvaiheena siltatyömailla on usein betonivalut, joita varten tehdään muotti. Siltatyömailla muotit tehdään tyypillisesti puusta. (Väylävirasto 2008a.) Puutavaran kantaminen ja sen asennus kapeilla ja ahtailla työtelineillä altistaa työntekijän kehon kuormittaville nosto- ja kiertoliikkeille, jotka voivat aiheuttaa erilaisia tuki- ja liikuntaelinten vaurioita. Muotin valmistumisen jälkeen alkaa raudoitetun rakenneosan betonointi. Betonoinnissa ei tapahdu työskentelyä olkapäälinjan yläpuolella, mutta siltatyömaiden vähäisen tilan ja haastavan sijainnin vuoksi joudutaan teettämään eripituisia linjavaluja. Linjavalussa betonipumpun letkua jatketaan tarvittava määrä, jotta pystytään betonoimaan kauempanakin olevat kohteet. (Betonitieto 2024.) Linjavalussa olevat putket painavat kymmeniä kiloja, jolloin niiden nostaminen ja liikuttelemine on raskasta. Näin ollen eksoskeleton voisi ehkäistä nostoissa tapahtumia selän venähdyksiä, sillä se auttaa työntekijää oikeanlaisen nostoasennon saavuttamisessa keventäen itse nostoa.

Sillan toimivuuden ja liikkeiden takia silloissa on laakerit, jotka välittävät silloissa aiheutuneet kuormitukset sillan alus ja tukirakenteille. Sillan laakerit kuluvat ja ruostuvat ajan saatossa, jolloin niitä pitää kunnostaa tai vaihtaa. (Väylävirasto 2021.) Laakerit ovat painavia ja niiden nostaminen hartialinjan yläpuolelle rasittaa hyväkuntoistakin työntekijää nopeasti. Laakeritöitä voitaisiin helpottaa ja tehdä niistä miellyttävämpiä eksoskeletonin avulla, jolloin työtä olisi mahdollista toteuttaa tehokkaammin ja ennen kaikkea turvallisemmin.



Siltoja joudutaan korjaamaan jatkuvasti kulutuksesta aiheutuvan kuluman seurauksena. Korjattavissa silloissa korjataan betonirakenteisiin ilmestyviä vaurioita kuten halkeamia ja lohkeamia. Vaurioita syntyy ajan saatossa esimerkiksi betonin rappautumisen seurauksena. Nämä vauriot korjataan paikkaamalla betonirakenne korjauslaastilla muiden sillan korjauksen työvaiheiden ohessa. Vaurioita voi esiintyä missä kohdissa siltoja tahansa eli esimerkiksi alusrakenteissa, reunapalkeissa tai sillan kannen alapuolella. Korkealla olevat vauriot vaativat työskentelyä olkapäälinjan yläpuolella. Paikkaus kestää yleensä monta tuntia riippuen siitä, voidaanko paikkaus suorittaa ilman muottia vai muotin kanssa. (Väylävirasto 2008.) Erityisesti juuri haasteellisten sijaintien sekä pitkien työskentelyaikojen vuoksi siltojen korjaaminen kuormittaa työntekijöitä.

## **2.5 Aiemmat tutkimukset eksoskeletoneista**

Eksoskeletoneista on tehty muutamia aikaisempia tutkimuksia Suomessa, mutta ne ovat pohjautuneet talonrakennusalalle. Infra-alan tutkimuksia eksoskeletoneista ei löytynyt työn tekohetkellä. Yksi aiemmista tutkimuksista on Roni Eeronheimon vuonna 2021 kirjoittamana opinnäytetyö Skelex nimisestä eksoskeletonista. Skelexiä maahantuo Meditas Oy, jolta tähänkin tutkimukseen saatiin eksoskeletoneja testattavaksi. Eeronheimon työssä eksoskeletonia koekäytettiin talonrakennuksen sisätöiden eri vaiheissa. Tutkimuksessa saatiin selville, että eksoskeletonin avulla voidaan poistaa lihassärkyä ylöspäin työskennellessä. Laite ei myöskään rajoittanut työtehtävien tekoa. (Eeronheimo 2024.)

Toinen vastaavanlainen opinnäytetyö on Pauliina Pesosen vuonna 2024 kirjoittama opinnäytetyö, jossa koekäytettiin Hiltin EXO-O1 eksoskeletonia. EXO-01 on vanhempi malli tässä tutkimuksessa käytettävästä EXO-S eksoskeletonista. Pesosen työssä EXO-01 oli koekäytössä viikon ajan ilmastointiasentajilla. Tässä työssä ilmastointiasentajat kokivat eksoskeletonin hyödylliseksi vähentäen ylöspäin työskentelyn kuormittavuutta. Työssä kuitenkin ilmeni, että eksoskeletonin käyttö voi olla haasteellista ahtaissa tiloissa. (Pesonen 2024.)

Aiemmissä tutkimuksissa on siis saatu selville, että eksoskeletoneista on hyötyä työntekijöille ja niiden käyttö soveltuu talonrakennusalalla sisätöihin. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää, miten eri valmistajien ja maahantuojien eksoskeleton mallit soveltuvat ulkona tehtäviin töihin ja miten se istuvat käyttäjille paksun ulkovaatetuksen kanssa. Työssäni käytetään lisäksi myös eri eksoskeletoneja tai uudempia malleja, kuin aiemmissä tutkimuksissa.

### 3 Tutkimuksen toteutus

#### 3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena on testata Suomen markkinoilla olevia eri eksoskeleto-n malleja, joista voisi olla hyötyä siltatyömailla. Tutkimuksen tavoitteena on siis vertailla eri valmistajien ja maahantuojien eksoskeleto-n malleja selvittäen, mitkä niistä soveltuvat parhaiten sillan rakennus- ja korjaustyömaille. Eksoskeleto-n malleja testataan siltatyömailla erilaisissa olosuhteissa, jonka avulla selvi-tetään rakennustyöntekijöiden kokemuksia niistä.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset:

1. Voidaanko eksoskeleto-nia hyödyntää siltatyömailla?
2. Voidaanko eksoskeleto-nien avulla vähentää siltatyömaiden eri työtehtä-vien aiheuttamaa rasitusta?
3. Mikä eksoskeleto-n Destian kannattaisi hankkia?

#### 3.2 Tutkimusmenetelmä

Koska tutkimus pohjautuu tutkittavien henkilöiden kokemukseen eri eksoskeleto-n malleista ja niiden hyödyistä, on se luonteeltaan empiirinen. Empiirinen tut-kimus perustuu nimittäin “- - kokemukseen tutkimuskohteesta.” (Jyväskylän yli-opisto 2024a). Tutkimus on lisäksi luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen, sillä kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimustulos perustuu koehenkilöiden ko-kemuksiin, ajatuksiin, tunteisiin ja seurauksiin, joita koehenkilö tutkitusta asiasta kokee (Juuti & Puusa 2020, 9). Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää koehenkilöiden kokemuksia ja ajatuksia eksoskeleto-nien käytöstä siltatyömailla.

Tutkimus on lisäksi vertaileva, sillä sen tarkoituksena on vertailla eri eksoskeleto-n malleja ja niiden hyödyllisyyttä siltatyömailla. “Vertailevalla tutkimuksella tar-koitetaan tutkimusstrategiaa, jossa hahmotetaan valittujen tapauksien tai sosi-aalisten yksiköiden välisiä yhtäläisyyksiä ja eroja.” (Jyväskylän yliopisto 2024b). Vertaileva tutkimus soveltuu tähän opinnäytetyöhön hyvin, sillä työn

tarkoituksena on vertailla eri eksoskeleton mallien hyviä ja huonoja puolia. Näin saadaan selville muun muassa, mitkä mallit soveltuvat parhaiten siltatyömaille ja mitkä yrityksen kannattaisi hankkia itselleen niiden monipuolisuuden vuoksi.

Opinnäytetyöni tiedonkeruumenetelmänä käytetään haastattelua. Haastattelua käytetään menetelmänä, kun halutaan selvittää ihmisten ajatuksia ja toimintatapoja jostain tietystä asiasta. Tällöin paras mahdollinen tieto saadaan kysymällä ihmiseltä itseltään. Haastattelun etuna pidetään tilanteen vuorovaikutteisuutta, sillä tarvittaessa esimerkiksi haastattelukysymys voidaan esittää uudestaan tai kysymystä voidaan myös tarkentaa. Haastattelun toisena etuna voidaan pitää haastattelijan mahdollisuutta toimia havainnoitsijana kirjaten ylös, mitä tai miten kysymykseen vastataan. Etuna on myös se, että haastattelutilanteesta sovitaan yleensä henkilökohtaisesti, jonka jälkeen solmitaan tutkimuslupa. Luvan solmimisen jälkeen haastateltava ei todennäköisesti enää peru haastattelua tai kiellä sen käyttöä tutkimusaineistona. Näiden etujen ansioista haastattelua voidaan pitää joustavana tutkimusmenetelmänä. Haastattelun huonoa puolena voidaan puolestaan nähdä se, että haastattelu vie usein paljon aikaa, jonka vuoksi sitä voidaan pitää kalliina menetelmänä. (Tuomi & Sarajärvi 2018, luku 3.1.)

Opinnäytetyöni haastattelun tavaksi on valittu avoin haastattelu. Moylen (2002) sekä DiCicco-Bloomin ja Crabtree (2006) mukaan avointa haastattelua pidetään ohjattuna keskusteluna, sillä haastattelussa muodostuneen keskustelun kohteena on tutkittava ilmiö (Palonen & Kylmä 2022, 284). McCannin ja Clarkin (2005) mukaan ”Avointa haastattelua on mahdollista kuvata myös keskusteluksi, jolla on tietty tarkoitus - -.” (Palonen & Kylmä 2022, 284). DiCicco-Bloom ja Crabtree (2006) kuvaavat lisäksi, että avoimen haastattelun pohjana voi usein olla ennalta pohdittuja tutkimus- ja apukysymyksiä. Ne eivät kuitenkaan saa ohjata tutkittavaa ihmistä sisällöllisesti. Ennalta pohdittujen kysymysten tarkoituksena on auttaa tai rohkaista tutkittavaa kertomaan enemmän kokemuksistaan. Avoimen haastattelun riskinä on keskustelun harhautuminen aiheen ohi. Kysymykset voivat myös sekoittaa haastateltavaa tai johdatella haastattelun väärien tuloksiin. (Palonen & Kylmä 2022, 284.)

Toisena tiedonkeruumenetelmänä toimii Työterveyslaitoksen kehittämän tutkimuksen ”Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoisen tukirangan avulla” pohjalta luotu eksoskeletonin hyötyjen arviointityökalu EKS@ (Liite 2). EKS@

on luotu arvioimaan eksoskeletonien tarpeellisuutta erilaisissa työtehtävissä. Se kostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen eli tarpeellisuuden arviointikysely suoritetaan ennen eksoskeletonin koekäyttöä ja toinen osa eli käytettävyysskysely puolestaan koekäytön jälkeen. (Mänttari, Halonen, Karkulehto, Rauttola, Säynäjäkangas & Oksa 2021.) Tässä opinnäytetyössä käytetään kuitenkin vain arviointityökalun jälkimmäistä osaa eli käytettävyysskyselyä, sillä eksoskeletonien tarpeellisuutta ei ole olennaista tutkia erikseen. Eksoskeletonien tarpeellisuus voidaan perustella tutkimuksen teoriaosassa esiteltyjen rakennusalan tuki- ja liikuntaelinten vaivojen sekä sairauspoissaolojen määrän avulla. Työterveyslaitoksen johtavalta tutkijalta ja yhdeltä tutkimuksen kirjoittajalta Satu Mänttäriltä on kysytty sähköpostitse lupa EKS@ kyselyn käyttöön tässä tutkimuksessa.

### **3.3 Tutkimusaineiston keruu ja kohderyhmä**

Opinnäytetyöni aineisto kerättiin Destian työmaalla avoimen haastattelun avulla (Liite 1). Tarkoituksena oli testata eksoskeletoneja siltatyömaan tavanomaisissa työtehtävissä. Eksoskeletonien testauksen jälkeen niiden käyttäjiä haastateltiin yksilöllisesti käyden läpi heidän kokemuksiaan muun muassa eri eksoskeleton mallien hyvistä ja huonoista puolista.

Eksoskeletonien testipaikaksi valikoitui Espoon kaupunkirata hanke (ESKA). Kyseinen työmaa valikoitui testipaikaksi, koska siellä oli siltatyöt parhaillaan käynnissä ja Destian omia timpureita töissä. Perusjoukoksi eli kohderyhmäksi valikoitui puolestaan timpureista ne, jotka olivat halukkaita testaamaan laitteita työssään. Laitteita haluttiin testata siltatyömaan päivittäisissä töissä ja henkilöillä, joilla on kokemusta siltatyömailta. Testissä haluttiin lisäksi kokeilla eksoskeletonien yhteensopivuutta ulkovaatetuksen sekä muiden työkalujen kanssa.

### **3.4 Tutkimusaineiston analysointi**

Tutkimusaineiston analyysillä tarkoitetaan aineiston tiivistämistä ja muuttamista teoreettiseen muotoon. Analysointi aloitetaan tutustumalla tutkittavaan aiheeseen, jonka jälkeen siitä muodostetaan kokonaiskuva. Tämän jälkeen tutkimusaineisto muutetaan tutkimusmuotoon eli kuva- ja tekstimuotoon. Kun aineisto on

muutettu tutkimusmuotoon, tämän jälkeen aineistoa aletaan analysoidaan valitulla tutkimusmenetelmällä. (Günther, Hasanen & Juhila 2024.)

Tämän opinnäytetyön aineiston analyysimenetelmäksi on valittu laadullinen sisällönanalyysi. Sisällönanalyysi sopii käytettäväksi juuri esimerkiksi haastattelujen analysointiin. Siinä kiinnitetään huomiota siihen, mitä asioita tai aiheita tutkimuksessa ilmenee eli mistä asioista haastateltavat puhuvat. (Vuori 2024.)

Tässä työssä sisällönanalyysi on aineistolähtöinen. Aineistolähtöisessä sisällönanalyysissä aineistosta nostatetaan esiin analyysin tärkeimmät seikat välittämättä siitä, mitä ne ovat. Aineisto analysoidaan siis uusista lähtökohdista ilman, että annetaan teorian tiedon vaikuttaa tärkeimpiin seikkoihin. (Leinonen 2018.) Sisällönanalyysin tekemisen prosessi sisältää kolme päävaihetta. Nämä vaiheet ovat valmistelu-, analysointi ja raportointivaihe. (Elo, Kajula, Tohmola & Kääriäinen 2022, 217–223.) Tämän opinnäytetyön aineiston analysoinnissa keskitytään vain näihin kolmeen prosessin päävaiheeseen, sillä muut vaiheet eivät ole olennaisia tutkimuksen tulosten kannalta.

Sisällönanalyysin ensimmäisessä päävaiheessa eli valmisteluvaiheessa valitaan analyysiyksikkö eli ajatuskokonaisuus, jota haastattelun avulla lähdetään aineistosta poimimaan. Ajatuskokonaisuus, jota tässä työssä etsitään, on se, että voidaanko testattua eksoskeletonia hyödyntää siltatyömailla. Seuraavassa eli analysointivaiheessa perehdytään puolestaan koko aineistoon huolellisesti ja tiivistetään se vastaamaan tutkimuskysymystä. Tässä vaiheessa aineistosta poistetaan epäolennaiset asiat, jotta pysytään asiasisällössä. Viimeisessä eli raportointivaiheessa analysoinnilla saadut tulokset raportoidaan tutkimuskysymyksen vastaten, jotta analysoinnista tulee helpommin ymmärrettävää. (Elo, Kajula, Tohmola & Kääriäinen 2022, 217–223.)

## 4 Opinnäytetyön tekemisen kuvaus

### 4.1 Taustatiedon keruu eksoskeletoneista ja toimistotestit

Opinnäytetyöni prosessi alkoi elokuussa 2024 laitevalmistajien kartoituksella. Sain taustatietoa eri yrityksistä opinnäytetyöni ohjaajalta sekä internetistä. Opinnäytetyöni aihe on rajattu sillan rakentamiseen ja korjaamiseen. Tämän vuoksi testattavien eksoskeletonien tuli soveltua rakennustyömaille, ulkotyöhön ja altistuminen mahdollisille kolhuille tai lialle ei saanut olla ongelma. Sopivien laitteiden löytyttyä sovin eri eksoskeletonien valmistajien ja maahantuojien kanssa laite-esittelyt heidän laitteilleen. Laite-esittelyissä saimme tietoa laitteiden käytöstä, saatavuudesta sekä hintatasosta. Pääsimme myös kokeilemaan laitteita toimisto-olosuhteissa, jolloin meille opastettiin eri eksoskeleton mallien käyttö. Toimistotesteissä kartoitettiin vielä tarkemmin työhöni testattavaksi soveltuvat laitteet sekä sovittiin laitevalmistajien kanssa laitteille työmaatestit.

### 4.2 Eksoskeletonien testaus työmailla

Eksoskeletoneille suoritettiin työmaatestit marras-joulukuussa 2024. Testattavaksi valikoidut laitteet olivat lähes samat kuin aiemmin toimistossa testatut laitteet. Testattavia laitteita olivat Hiltin EXO-S (kuva 10), Festoolin ExoActive (kuva 7) ja Meditakselta saadut Auxivon LiftSuit (kuva 8) sekä OmniSuit (kuva 9). Nämä laitteet valittiin testiin, sillä ne todettiin toimistotesteissä parhaiten siltytyömaille soveltuviksi. Laitteiden määrä rajattiin tarkoituksella, jotta testattaviin laitteisiin voidaan perehtyä kunnolla, eikä aika kulu pelkästään laitteiden päälle ja pois pukemiseen.

Testejä varten valitut eksoskeletonit haettiin Hiltiltä lainaan kuukaudeksi ja Festoolilta viikoksi. Meditas toimitti laitteensa puolestaan suoraan testipaikalle yhden päivän ajaksi. Laitteiden lainauksesta ei aiheutunut Destialle kuluja. Työmaatestit sovittiin ennakkoon työmaan henkilöstön kanssa sellaisille päiville, jolloin oli hieman rauhallisempaa. Tämä mahdollisti sen, että laitteiden toimintaperiaatteet voitiin käydä rauhassa läpi. Laitteet esiteltiin Destian timpureille työmaan taukotilassa lounastauon yhteydessä, jolloin heille myös opastettiin,

kuinka ne puetaan päälle. Timpurit kokeilivat laitteita ensin taukotilassa ja antoivat ennakkoon näkemyksensä siitä, missä työvaiheessa laitteita voisi hyödyntää. Tämän jälkeen timpurit lähtivät normaaleihin työtehtäviinsä laitteiden kanssa. Eksoskeletoneja testattiin muottitöissä, tavaranto- ja kantotöissä sekä muissa pienissä korjaustöissä. Hiltin eksoskeletoneja testattiin kaikissa näissä työvaiheissa eri koehenkilöiden toimesta. Yhtä työvaihetta testattiin aina yhden päivän ajan. Festoolin ExoActivea päästiin testaamaan pelkästään toimisto-olosuhteissa, sillä laitetta pystyy käyttämään vain silloin, kun ulko-olosuhteet ovat samat kuin sisätiloissa (Sainio 2024). Laitetta ei siis voitu käyttää lainkaan testi viikon aikana ulkona, sillä olosuhteet eivät sallineet sitä. Meditakselta saadut Auxivon laitteet olivat testattavana puolestaan vain päivän, kaikkia työvaiheita paitsi porausta testattiin saman päivän aikana.



Kuva 8. Auxivon LiftSuit koekäytössä työtakin alla 26.11.2024 (Kuva: Teemu Wilen).



Kuva 9. Auxivon OmniSuit koekäytössä työmaalla 26.11.2024 (Kuva: Teemu Wilen).



Hiltiltä saadun pitkän laina-ajan ansiosta EXO-S eksoskeleton vietiin koekäyttöön myös Destian Viikintiellä sijaitsevalle sillankorjaustyömaalle. Siellä laite oli koekäytössä viikon ajan Destian timpuriryhmällä. Viikissä eksoskeletonia testattiin erilaisissa nosto- ja poraustöissä.



Kuva 10. Hiltin EXO-S eksoskeleton koekäytössä työmaalla 12.12.2024 (Kuva: Teemu Wilen).

### **4.3 Testausten jälkeinen haastattelu ja käyttökokemusten selvittäminen**

Työmaatestien jälkeen laitteita testanneiden timpureiden kanssa kokoonnuttiin yksi kerrallaan työmaan taukotilaan, jossa heitä haastateltiin avoimen haastattelun keinoin. Haastattelun alussa timpureilta kysyttiin muutama ennalta pohdittu apukysymys, jotta haastattelutilanne saatiin käyntiin. Näin haastattelija pääsi lisäksi poimimaan tutkimuskysymykseen liittyviä esiin nousevia asioita. Haastattelun lopuksi timpureiden kanssa täytettiin eksoskeletonin arviointityökalu EKS@ käytettävyyksely. Käytettävyykselyn tuloksilla saatiin muodostettua kokonaiskuva siitä, mitä mieltä timpurit olivat kustakin laiteesta.

## 5 Tulokset

### 5.1 Eksoskeletonien hyödynnettävyys siltatyömailla

Työmaatestien perusteella Hiltin EXO-S eksoskeleton istui koehenkilöiden mukaan hyvin heidän päälleen riippumatta koehenkilöiden koosta. Heidän mukaansa laite oli myös ensimmäisen opastuksen jälkeen helppokäyttöinen, eikä sen päälle pukeminen aiheuttanut ongelmia. Koehenkilöiden mukaan EXO-S eksoskeletonia voidaan hyödyntää ylöspäin työskenneltäessä esimerkiksi poraus- ja paikkaustöissä. Laite sopi hyvin paksujen ulkovaatteiden päälle, sillä paksu vaatetus ei haitannut eksoskeletonin toimivuutta. Muissa kuin ylöspäin tehtävissä töissä EXO-S koettiin hieman kömpelöksi, koska se vastustaa käsien alas vientiä, eikä sitä saa kytkettyä tilapäisesti pois päältä. Lisäksi sen ulkonevat osat kolhivat ja takertuivat välillä kiinni sillan telineisiin. Koehenkilöiden mielestä parempi vaihtoehto olisi riisua laite pois päältä, kun tehdään työvaihetta, jossa joutuu liikkumaan paljon. Laitteen säätöruuvilla koettiin myös olevan vaikea sijainti, jolloin laitteen antamaa avustusta ei voitu säätää itse eksoskeletonia käytettäessä. Yhden eksoskeletonia testanneen koehenkilön mukaan EXO-S ”Ei haittaa porauksessa, eikä oo tiellä.”. Hänen mukaansa se kuitenkin ”Vaatii totuttelua käytettäessä, mutta on sellanen tuote, että ajan kans ei enää ees huomaa et on päällä.”. EKS@ kyselyn ensimmäisessä kohdassa ”Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein.” koehenkilöiden vastausten keskiarvo oli neljä eli he olivat väittämän kanssa samaa mieltä. Myös kolmannen kysymyksen vastausten keskiarvo oli neljä. Siinä selvitettiin koehenkilöiden kokemuksia siitä, oliko eksoskeletonia helppo käyttää.

Auxivon LiftSuit oli ainut laite, jonka kanssa pystyi koehenkilöiden mukaan työskentelemään koko testijakson ajan kaikissa työtehtävissä. Koehenkilöiden mukaan laitteen kanssa oli helppo liikkua ja sen käytön sekä päälle pukemisen koehenkilöt oppivat nopeasti. Laitteen suurimmaksi eduksi koettiin se, että LiftSuit mahtui työtakin alle. Tämän ansiosta siinä ei esiintynyt takertumisvaaraa tai muutakaan kömpelyyttä. Koehenkilöiden mukaan laitteen antamaa avustusta oli myös helppo säätää itse olkapään kohdilla olevista klipseistä, joka teki eksoskeletonista helppo- ja nopeakäyttöisen. Yhden koehenkilön mukaan laitetta ”- - ei edes huomannu päällä.” ja sen ”- - käytön oppi nopeasti.”. EKS@ kyselyn

ensimmäisessä kohdassa "Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein." koehenkilöiden vastausten keskiarvo oli viisi eli he olivat väittämän kanssa täysin samaa mieltä. Kyselyn kolmannen kohdan eli "Eksoskeletonia oli mielestäni helppo käyttää" vastausten keskiarvo oli myös viisi.

Koehenkilöiden mukaan Auxivon OmniSuit soveltuu käytettäväksi ylöspäin tehtävissä töissä, mutta muunlaisissa työtehtävissä sen kanssa liikkuminen koettiin kömpelöksi. Koehenkilöiden mukaan silloin, kun työtehtävässä ei ollut ylöspäin työskentelyä, laite oli riisuttava pois päältä. Myös OmniSuitin antamaa avustusta oli testaajien mukaan vaikea säätää itse, mikäli laitetta ei ottanut ensin pois päältä. Laite sopi heidän mukaansa kuitenkin hyvin ulkovaatetuksen päälle. Yhden koehenkilön mukaan laite oli "Kädet ylhääl työskentely tosi hyvä, muissa töis ei kuitenkaa oikeen käyttöö.". EKS@ kyselyn ensimmäisessä kohdassa "Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein." koehenkilöiden vastausten keskiarvo oli neljä eli he olivat väittämän kanssa samaa mieltä. Kolmannella kysymyksellä selvitettiin eksoskeletonin helppokäyttöisyyttä, johon vastausten keskiarvo oli kolme eli vastaajien mielipide neutraali.

Festoolin ExoActiven koehenkilöt totesivat toimistotestin perusteella olevan liian painava päällä, jonka vuoksi liikkumista ei koettu sujuvaksi. Heidän mukaansa laite kuitenkin antoi hyvän avustuksen käsille ja sen antamaa avustusta oli lisäksi helppo säätää solisluun kohdalla olevasta kaukosäätimestä. Koehenkilöt totesivat testauksen jälkeen laitteen sopivan paremmin talonrakennusalalle, mutta ei siltatyömaille. EKS@ kyselyä ExoActivesta ei täytetty, koska laitetta ei päästy testaamaan työmaolosuhteissa sääolosuhteiden vuoksi.

## **5.2 Siltatyömaiden työtehtävistä aiheutuvan rasituksen vähentäminen eksoskeletonien avulla**

Koehenkilöiden mukaan kaikilla testatuilla laitteilla voidaan vähentää siltatyömaiden työtehtävistä aiheutuvaa rasitusta. Jokaisen työmaalla testatun laitteen käytön jälkeen koehenkilöt pystyivät nimeämään työvaiheen, jossa kyseinen eksoskeleton vähentää kehon kiputiloja.

Koehenkilöiden haastattelujen perusteella Hiltin EXO-S kevensi huomattavasti rasitusta olkapäissä sekä lisäksi paransi koehenkilöiden ryhtiä. Laitteen antama avustus oli koehenkilöiden mukaan kuitenkin hieman rajallinen, sillä avustus auttoi vasta kun kädet olivat tarpeeksi ylhäällä eli yli yhdeksänkymmentä astetta. EKS@ kyselyn seitsemännessä kohdassa ”Eksoskeleton kevensi työtäni.” koehenkilöiden vastausten keskiarvo oli kuitenkin viisi eli he olivat väittämän kanssa täysin samaa mieltä. Kohdassa yhdeksän selvitettiin sitä, paransiko eksoskeleton koehenkilöiden jaksamista työpäivän aikana tai sen jälkeen. Tähän vastausten keskiarvo oli kolme eli heidän mielipiteensä asiaan oli neutraali.

Auxivon LiftSuitin antama kevennys nostoissa vähensi koehenkilöiden selän rasitusta huomattavasti. Laite antoi tukea myös sellaisten koehenkilöiden selälle, joilla selkä oli jo valmiiksi kipeä. Työmaatestien jälkeisessä haastattelussa yksi koehenkilö totesi, että ”Nostoissa alhaalta ylös tukee tosi hyvin selkää.”. EKS@ kyselyn seitsemännessä kohdassa ”Eksoskeleton kevensi työtäni.” koehenkilöiden vastausten keskiarvo oli viisi eli he olivat asiasta täysin samaa mieltä. Kohtaan yhdeksän ”Eksoskeleton paransi jaksamistani työpäivän aikana tai sen jälkeen.” vastaajien keskiarvo oli neljä eli he olivat asiasta samaa mieltä.

Koehenkilöiden mukaan Auxivon OmniSuit keventää työtä ja vähentää olkapäiden rasitusta ylöspäin tehtävissä töissä. Tämän lisäksi laite antoi tuen selälle, kun koehenkilöt tekivät nostoja maasta. EKS@ kyselyn seitsemännessä kysymyksessä selvitettiin, kevensikö eksoskeleton koehenkilöiden työtä. Vastausten keskiarvo oli neljä eli he olivat väittämän kanssa samaa mieltä. Yhdeksännessä kohdassa, jossa selvitettiin, paransiko eksoskeleton koehenkilön jaksamista työpäivän aikana tai sen jälkeen, vastausten keskiarvo oli puolestaan kolme eli mielipide asiaan oli neutraali.

### **5.3 Destialle hankittavat eksoskeletonit**

Työmaatestien avulla saatujen tulosten perusteella Hiltin EXO-S:ää, Auxivon LiftSuittia sekä Auxivon OmniSuittia voitaisiin suositella opinnäytetyön toimeksiantajalle eli Destia Oy:lle hankittavaksi heidän työmailleen. Koehenkilöt kokivat, että kaikki nämä laitteet helpottivat siltatyömailla työskentelyä. Hiltin EXO-S eksoskeleton koettiin erityisen hyväksi ylöspäin työskenneltäessä. Auxivon LiftSuit

koettiin puolestaan hyväksi muun muassa sen helppo- ja nopeakäyttöisyyden sekä sen antaman avustuksen vuoksi. Hiltin eksoskeletonin tavoin myös Auxivon OmniSuit helpotti koehenkilöiden työskentelyä tehtäessä töitä ylöspäin.

Tulosten perusteella saatiin lisäksi selville, että Festoolin ExoActive ei soveltunut siltatyömaille kokonsa sekä sen käyttörajoitusten vuoksi. Laitetta ei saatu testattua työmaaolosuhteissa laisinkaan, sillä sitä ei voi käyttää esimerkiksi saateisella säällä ollenkaan.

## 6 Pohdinta

### 6.1 Johtopäätökset

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että eksoskeletoneista on hyötyä siltatyömailla. Niiltä ei kuitenkaan voida odottaa liikoa, sillä tulosten perusteella ne ovat vielä paikoittain kömpelöitä. Siltatyömailla työtehtävien vaihtelevuus on suurta ja eksoskeletoneja voidaan hyödyntää niistä vain murto-osassa. Tässä opinnäytetyössä testatuista eksoskeletoneista vain Auxivon LiftSuittia pystytään käyttämään siltatyömailla päällä koko päivän ajan. Ylöspäin työskentelyyn tarkoitetut Hiltin EXO-S sekä Auxivon OmniSuit koettiin kömpelöiksi muissa töissä, mutta ylöspäin työskennellessä tai raskaissa nostoissa jokainen eksoskeletonia testannut koehenkilö ottaisi ne kuitenkin käyttöönsä.

Eksoskeletoneista löydettiin myös kehityskohtia. Hiltin EXO-S:ässä sekä Meditaksen OmniSuitissa avustuksen haluttaisiin ylöspäin työskennellessä alkavan hieman aikaisemmin, kuin vasta rinnan korkeudelta. Tällöin laite auttaisi paremmin maasta tehtävissä nostoissa. Toisena kehityskohtana laitteisiin haluttaisiin ominaisuus, jolla laitteen antaman avustuksen voisi kytkeä kokonaan pois päältä. Tällöin välissä voitaisiin työskennellä muissa eri työvaiheissa. Kolmantena kehityskohtena sekä haasteena siltatyömaita ajatellen on se, että eksoskeleton ja valjaat eivät sovellu käytettäväksi samaan aikaan. Jos eksoskeletonia voitaisiin itsessään käyttää myös valjaina, olisi niiden käyttö runsaampaa.

Suosittelisin Destiaa hankkimaan tämän työn tulosten perusteella itselleen kaksi eri eksoskeleton mallia. Nämä mallit ovat Hiltin EXO-S sekä Auxivon LiftSuit. LiftSuit sopi kaikista laitteista parhaiten siltatyömaille, sillä se ei takertunut mihinkään kiinni sekä se oli käyttäjälleen huomaamaton. Testeissä se keräsi kehuja heti alusta alkaen, ja jokainen koehenkilö kertoi, että haluaisi LiftSuitin käyttöönsä päivittäiseen työhön. Hiltin EXO-S olisi hyvä vaihtoehto hankittavaksi Destialle, koska se on huomattavasti edullisempi kuin Auxivon OmniSuit. Niiden käytettävyyden ja ominaisuudet olivat koehenkilöiden mukaan samat, mutta EXO-S on OmniSuitia puolet halvempi. Olen tutkimuksen tulosten perusteella myös sitä mieltä, että Destian kannattaa hankkia kaksi eri laitetta, sillä niitä ei

ole helppo vaihdella työtehtävien välillä. Tällöin eri timpuriryhmät voisivat vuorotella laitteiden käyttöä työskennellessään eri työvaiheissa.

## 6.2 Eettisyys ja luotettavuus

Tämän opinnäytetyön teossa työn eettisyydestä on huolehdittu Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (2023) eli TENKin hyvän tieteellisen käytäntöjen mukaisesti. Ennen opinnäytetyön aineiston keräämistä kaikilta vapaaehtoisilta opinnäytetyössä esiintyviltä henkilöiltä kysyttiin lupa haastattelua, eksoskeletonien testausta sekä valokuvausta varten. Tämän lisäksi pyrittiin varmistamaan, että tutkimustilanteista ei aiheudu koehenkilöille vaaraa muun muassa opastamalla heille oikeaoppinen eksoskeletonien käyttö sekä minimoimalla mahdolliset niiden testaukseen liittyvät riskit. Eksoskeletonien käyttöä opastamalla huolehdittiin samalla esimerkiksi siitä, että eksoskeletonit eivät takertuisi ahtailla telineillä mihinkään ja aiheuttaisi näin ollen vaaratilanteita. Tutkimuksen toteutuksen aikana kaikkia koehenkilöitä kohdeltiin lisäksi kunnioittavasti ja yhdenvertaisesti. Koehenkilöiden henkilöllisyyttä ei myöskään tuoda esiin opinnäytetyössä vaan siinä puhutaan koehenkilöistä yleisesti. Työn kirjoitusvaiheessa eettisyydestä huolehdittiin siten, että tutkimuksessa käytettyihin lähteisiin on viitattu asianmukaisesti niitä arvostaen. Lisäksi esimerkiksi EKS@ kyselyn käyttöä varten on kysytty lupa asianomaisilta.

Eettisyyden lisäksi on myös hyvä tarkastella tutkimuksen luotettavuutta. Opinnäytetyön tuloksista saatiin työn toimeksiantajalle hyödyllistä tietoa eksoskeletonien toimivuudesta siltatyömailla sekä niiden saatavuudesta Suomessa. Tässä opinnäytetyössä eksoskeletoneja testanneita koehenkilöitä oli kuitenkin melko vähän ja tulokset ovat heidän mielipiteitään, jonka vuoksi niitä ei voida pitää täytenä totuutena. Tuloksia käsiteltäessä tulee siis muistaa, että eri työntekijöillä voi olla hyvin vaihtelevia mielipiteitä eri eksoskeletoneista. Tutkimuksessa ei päästy myöskään kokeilemaan jokaista työvaihetta, jossa koehenkilöiden mukaan eksoskeletoneista voisi olla hyötyä. Nämä työvaiheet otettiin kuitenkin huomioon laitteita arvioidessa, sillä koehenkilöillä on vahva kokemus siltatyömaiden kaikista työtehtävistä. Tämän lisäksi kaikkia eksoskeletoneja ei saatu tässä työssä testattua ajallisesti yhtä paljon, sillä joidenkin laitteiden saatavuus oli hankalampaa. En usko tämän kuitenkaan vaikuttaneen työn tuloksiin

merkittävästi, sillä koehenkilöt saivat muodostettua mielipiteensä eksoskeleto-  
neista jo ensimmäisten tuntien aikana.

Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena, sillä työn avulla saatiin toimeksian-  
tajalle hyödyllistä tietoa eri eksoskeleto- ja valmistavien ja maahantuovien yri-  
tysten laitteista. Työn avulla saatiin kartoitettua eri eksoskeletonien hyödyt sekä  
kehityskohdat, jonka seurauksena tulevaisuudessa tiedetään, milloin ja missä  
tilanteissa eksoskeleto- ja kannattaisi käyttää. Opinnäytetyön avulla lisättiin  
myös yrityksen työntekijöiden tietoisuutta eksoskeleto- ja niiden hyödyistä  
sekä saatiin poistettua pahimpia ennakkokäsityksiä laitteista. Ammatillisen kas-  
vun kannalta työn ohessa saatiin myös luotua uusia kontakteja, joilta tähänkin  
tutkimukseen saatiin hyödyllistä tutkimustietoa. Tämän lisäksi osaan tulevaisuu-  
dessa kiinnittää paremmin huomiota työntekijöiden turvallisuuteen ja hyvinvoin-  
tiin tarjoamalla työskentelyä helpottavia ratkaisuja.

### **6.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet**

Eksoskeletonien hyötyjä rakennusalalla voitaisiin tutkia lisää monesta eri näkö-  
kulmasta tarkasteltuna. Eksoskeletonien testaukset voisi esimerkiksi toteuttaa  
isommalla otannalla ja useammalla eri työmaalla, jotta eksoskeletonien testaa-  
jilta saataisiin mahdollisimman monipuoliset näkemykset niistä. Tämän lisäksi  
voitaisiin etsiä testattavaksi lisää eri eksoskeleton malleja esimerkiksi ulko-  
mailta. Myös osana jotakin tulevaa tutkimusta voisi tehdä kartoituksen kaikista  
aloista, joilla eksoskeleto- ja voisi olla hyötyä ja näin ollen muodostaa kuvan  
siitä, kuinka suuret markkinat eksoskeleto- ja todellisuudessa on.

Myös rakennusalalla eksoskeleto- ja voisi testata eri ammattiryhmillä, kuten ra-  
kennussiivoojilla tai rakennustyöntekijöillä, jotka kantavat ja nostelevat päivittäin  
tavaroita paikasta toiseen. Siltatyömaalla yhdeksi tutkittavaksi kohderyhmäksi  
voisi ottaa ruiskubetonointia tekevät rakennushenkilöt. Työllä voisi selvittää, hel-  
pottaako eksoskeleton heidän työtään sekä miten eksoskeleton toimii altistues-  
saan pölylle ja lialle. Näillä tutkimuksilla raskaista töistä voitaisiin saada mielek-  
käämpiä ja näin ollen parantaa työhyvinvointia laajemmin rakennusalalla. Tämä  
voisi myös mahdollisesti lisätä rakennusalan vetovoimaa sellaisten työtehtävien  
osalta, jotka koetaan fyysisesti raskaiksi tai epämiellyttäviksi.



## Lähteet

- Asikainen, J. 2021. Tiedeykkönen: Auttaako käsien ja selän ulkoinen tukiranka eli eksoskeleton jaksamaan fyysisesti raskaassa työssä? Yle.fi. [Kroppa kovilla – Tiede – yle.fi](#) 22.9.2024.
- Auxivo. 2024a. OmniSuit. [OmniSuit | Auxivo](#) 11.10.2024.
- Auxivo. 2024b. DeltaSuit. [Exoskeleton | DeltaSuit | Auxivo](#) 11.10.2024.
- Barthelme, J., Sauter, M., Mueller, C. & Liebers, F. 2021. Association between working in awkward postures, in particular overhead work, and pain in the shoulder region in the context of the 2018 BIBB/BAuA Employment Survey. BMC Musculoskeletal Disorders 22 (624).
- Betonitieto. 2024. Rakenteiden valu. [Rakenteiden valu - Betonitieto](#) 11.10.2024.
- DiCicco-Bloom, B. & Crabtree, BF. 2006. The qualitative research interview. Medical Education 40 (4), 314–321.
- Eeronheimo, R. 2021. Skelex - työergonomian parantaminen ja tuotannon tehostaminen. [OpinnäytetyöSkelex RoniEeronheimo 1807602.pdf](#) 29.11.2024.
- Ekso Bionics. 2024. Help your patients regain mobility with EksoHealth. [Home - Eksobionics](#) 22.9.2024.
- Elo, S., Kajula, O., Tohmola, A. & Kääriäinen, M. 2022. Laadullisen sisällönanalyysin vaiheet ja eteneminen. Hoitotiede 34 (4), 215–225.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto. 2020. Työssäkäytettävät eksoskeletonit: päälle puettava robotiikka ja työperäisten tuki- ja liikuntaelinsairauksien ehkäiseminen työpaikoilla tulevaisuudessa. <https://urly.fi/3D4U> 22.9.2024.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto. 2024. Tuki- ja liikuntaelimestön sairaudet. [Tuki- ja liikuntaelimestön sairaudet | Safety and health at work EU-OSHA \(europa.eu\)](#) 22.9.2024.
- Festool. 2024. Ammattilaisten eksoskeleton: ExoActive. [Ammatti- ja rakennustöiden eksoskeleton » Festool ExoActive](#) 11.10.2024.
- Günther, K., Hasanen, K. & Juhila, K. 2024. Johdanto: analyysi ja tulkinta. Tietoarkisto. [Johdanto: Analyysi ja tulkinta - Tietoarkisto](#) 17.11.2024.
- Hilti. 2024a. EXO-S hartioiden eksoskeleton. [EXO-S Hartioiden eksoskeleton - Hartia-eksoskeleton - Hilti Finland](#) 11.10.2024.
- Hilti. 2024b. EXO-T-22 eksoskeleton. [EXO-T-22 eksoskeleton - Hilti Finland](#) 11.10.2024.
- Juuti, P. & Puusa, A. 2020. Mitä laadullisella tutkimuksella tarkoitetaan? Teoksessa A. Puusa & P. Juuti (toim.). Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Gaudeamus Oy, 9.
- Jyväskylän yliopisto. 2024a. Empiirinen tutkimus. [Empiirinen tutkimus](#) 12.11.2024.
- Jyväskylän yliopisto. 2024b. Vertaileva tutkimus. [Vertaileva tutkimus](#) 13.11.2024.
- K-Rauta. 2024. Murtovasarat. [Murtovasarat | Tehokas murtovasara purkutöihin - K-Rauta](#) 11.10.2024.
- Laine. M. 2024. Toimitusjohtaja. Meditas. 24.10.2024.
- Lehtinen, M. 2022. Tule-sairauksien kirjo on laaja. Apteekkilehti. [Tule-sairauksien kirjo on laaja - Apteekkilehti](#) 29.9.2024.
- Leinonen, R. 2018. Sisällönanalyysi. Spoken. [Sisällönanalyysi - Spoken](#) 17.11.2024
- McCann, T. & Clark, E. 2005. Using unstructured interviews with participants who have schizophrenia. Nurse Researcher 13 (1), 7–18.
- Meditas. 2024a. Exoskeletonit. [Exoskeletonit - Meditas Oy](#) 22.9.2024.

- Meditas. 2024b. Hapo. [HAPO exoskeleton selän tukemiseen - Meditas Oy](#) 11.10.2024.
- Moyle, W. 2002. Unstructured interviews: challenges when participants have a major depressive illness. *Journal of Advanced Nursing* 39 (3), 266–273.
- Mäkinen, P. 2024. Länsi-Suomen aluejohtaja. Hilti 10.9.2024.
- Mänttari, S., Halonen, J., Karkulehto, J., Rauttola, A., Säynäjäkangas, P. & Oksa, J. 2021. Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoi sen tukirangan avulla. Työterveyslaitos. [TTL 978-952-261-985-3.pdf](#) 29.11.2024.
- Nissinen, J. 2023. Rakentajat työterveyshuollossa. Rakennusliitto. [Rakentajat työterveyshuollossa - Rakennusliitto](#) 29.9.2024.
- Nordic Rebal. 2023. Harjateräksen painot. [Harjaterästen-painotaulukko-1-3.pdf](#)
- Palonen, M. & Kylmä, J. 2022. Avoin haastattelu ja teemahaastattelu aineistonkeruumenetelmänä laadullisessa hoitotieteellisessä tutkimuksessa. *Hoitotiede* 34 (4), 281–294. [Avoin haastattelu ja teemahaastattelu aineistonkeruumenetelmänä laadullisessa hoitotieteellisessä tutkimuksessa - pdf](#) 16.11.2024.
- Peda.net. 2024. Syke 9. [9terkka.kpl9.pdf \(peda.net\)](#) 22.9.2024.
- Pesonen, P. 2024. Eksoskeletonin koekäyttö rakennustyömaalla. [Pesonen Pauliina.pdf](#) 29.11.2024.
- Rakennusliitto. 2024. Työskentelytavat ja ergonomia. [Työskentelytavat ja ergonomia - Rakennusliitto](#) 29.9.2024.
- Rakennustieto. 2000. RatuTT 07-00074. Työtelineet ja putoamisen estävät suojarakenteet. [RatuTT-07-00074.pdf](#)
- Saarinen, R. 2024. Eksoskeleton tuo apua raskaaseen työhön. Tekijä - Teollisuusliittolaisen lehti. [Eksoskeleton tuo apua raskaaseen työhön - Tekijä \(tekijälehti.fi\)](#) 22.9.2024.
- Sainio, S. 2024. Marketing specialist. Festool Suomi Oy. 11.10.2024.
- Savola, M. 2024. Kehittämispäällikkö. Destia Oy. 10.9.2024
- Skeleton.fi. 2024. Exoskeletonit työn keventämiseen ja poissaolojen vähentämiseen. [Exoskeletoneiden asiantuntija - www.skeleton.fi](#) 22.9.2024.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2007. Tuki- ja liikuntaelinsairauksien ehkäisemisessä riittää käytännön haasteita. [Tuki- ja liikuntaelinsairauksien ehkäisemisessä riittää käytännön haasteita - Sosiaali- ja terveysministeriö \(stm.fi\)](#) 29.9.2024.
- Suomen Nivelyhdistys ry. 2024. Tule-sairaudet yleisin syy työkyvyttömyyseläkkeeseen. [Tule-sairaudet yleisin syy työkyvyttömyyseläkkeeseen - Suomen Nivelyhdistys ry](#) 29.9.2024.
- Säkkinen, J. 2024. Festool Vantaa. ExoActiven esittelytilaisuus 15.10.2024.
- Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2023. Yleistietoa kansantaudeista. [Yleistietoa kansantaudeista - THL](#) 22.9.2024.
- Tuki- ja liikuntaelinliitto Tule ry. 2024. Tule-sairaudet. [Tule-sairaudet – Tuki- ja liikuntaelinliitto Tule ry \(suomentule.fi\)](#) 29.9.2024.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisältöanalyysi. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Karelia-Finna. 16.11.2024.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa 2023. [Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa](#) 1.12.2024.
- Työterveyslaitos. 2020. Tuki- ja liikuntaelinten sairaudet lyhentävät työuria ja haastavat hallituksen työllisyystavoitteita. [Tuki- ja liikuntaelinten](#)

- [sairaudet lyhentävät työuria ja haastavat hallituksen työllisyystavoitteita | Työterveyslaitos \(ttl.fi\)](#) 22.9.2024.
- Työterveyslaitos. 2021. Kädet koholla työskentelyn keventäminen eksoskeletin avulla. [Kädet koholla työskentelyn keventäminen eksoskeletin avulla | Työterveyslaitos \(ttl.fi\)](#) 29.9.2024.
- Vuori, J. 2024. Laadullinen sisällönanalyysi. Tietoarkisto. [Laadullinen sisällönanalyysi - Tietoarkisto](#) 17.11.2024.
- Väylävirasto. 2008a. Silko 2.211. Betonirakenteet- reunapalkin uusiminen- työkohtaiset laatuvaatimukset. [s2211\\_08.pdf \(vaylapilvi.fi\)](#) 11.10.2024.
- Väylävirasto. 2008b. Silko 2.231. Betonin paikkaus. [SILKO 2.231 \(vaylapilvi.fi\)](#) 11.10.2024.
- Väylävirasto. 2009. Silko 2.262. Raudoituksen uusiminen. [927681\\_Silko2\\_2.262.indd](#) 8.11.2024.
- Väylävirasto. 2016. Silko 2.261. Tartuntatankojen ankkurointi [s2261.pdf](#) 28.10.2024.
- Väylävirasto. 2021. Silko 1.352. Teräsrakenteet laakerit ja nivelet. [SILKO-ohje: Teräsrakenteet - Laakerit ja nivelet](#) 8.11.2024.
- Wærsted, M., Koch, M. & Veiersted, K.B. 2020. Work above shoulder level and shoulder complaints: a systematic review. International Archives of Occupational and Environmental Health 93 (9), 925–954. [Work above shoulder level and shoulder complaints: a systematic review | International Archives of Occupational and Environmental Health \(springer.com\)](#) 22.9.2024.

Apukysymyksiä koehenkilöille:

1. Onko laite painava päällä?
2. Lievensikö laite rasitusta tai kipua olkapäissä, hartioissa, selässä tai käsissä ylöspäin työskennellessä?
3. Mahtuuko laitteen kanssa työskentelemään sillan kapeilla telineillä?
4. Missä työvaiheessa näkisit, että laitteesta on eniten hyötyä?
5. Jaksako laitteen kanssa työskennellä pidempään tietyissä työvaiheissa, missä?

EKS@ - Eksoskeletonin hyötyjen arviointityökalu kädet hartiatason yläpuolella tehtävässä työssä

## Työterveyslaitos Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoisen tukirangan avulla

### 2. KÄYTETTÄVYYSKYSELY

Arvioi seuraavat väittämät kokeillen perusteella ympäröimällä mielipidettäsi kuvaava vaihtoehto.

	Täysin eri mieltä	Eri mieltä	Neutraali	Samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1. Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein.	1	2	3	4	5
2. Luulen, että tarvitsisin opastusta, jotta osaisin käyttää eksoskeletonia.	1	2	3	4	5
3. Eksoskeletonia oli mielestäni helppo käyttää.	1	2	3	4	5
4. Mielestäni eksoskeletonin eri osat eivät toimi teknisesti hyvin yhteen.	1	2	3	4	5
5. Luulen, että useimmat oppisivat eksoskeletonin käytön hyvin nopeasti.	1	2	3	4	5
6. Eksoskeleton rajoitti toimintaani tai liikelaajuuksiani.	1	2	3	4	5
7. Eksoskeleton kevensi työtäni.	1	2	3	4	5
8. Eksoskeletonin käyttö aiheutti fyysisiä oireita, kuten puutumisen tai kipua.	1	2	3	4	5
9. Eksoskeleton paransi jaksamistani työpäivän aikana tai sen jälkeen.	1	2	3	4	5
10. Eksoskeleton aiheutti turvallisuusriskin, kuten ympäristön havainnoinnin heikentyminen tai takertuminen vaatteisiin tai ympäristöön.	1	2	3	4	5

62

#### Kyselyn pisteitys ja tulkinta:

X = parittomien kysymysten vastausten summa - 5

Y = 25 - parillisten kysymysten vastausten summa

Kokonaispisteet:  $(X + Y) * 2,5$

Esimerkki:

Parittomien vastausten summa on 22 ja parillisten vastausten summa 8.

$((22-5) + (25-8)) * 2,5 = 85$  pistettä

Arvio soveltuvuudesta:	
Pistemäärä	Arvio
> 80,3	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään erinomaisesti
68,1–80,3	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään hyvin
68	Eksoskeleton soveltuu työtehtävään kohtalaisesti
51–67,9	Eksoskeletonin soveltuu työtehtävään heikosti
< 51	Eksoskeleton ei sovellu työtehtävään lainkaan

Lähde: Mänttari, Halonen, Karkulehto, Rauttola, Säynäjäkangas & Oksa 2021.

Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoisen tukirangan avulla. Työterveyslaitos