



Aktiivisen yläraaja-eksoskeletin soveltuvuus rakennusalalle

Ossi Nieminen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

NIEMINEN, OSSI:

Aktiivisen yläraaja-eksoskeletonin soveltuvuus rakennusalalle

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2024

Rakennusalalla työskentelee päivittäin tuhansia ammattilaisia, joiden työtehtävien suorittamiseen vaaditaan jatkuvaa työskentelyä kädet koholla. Tällaiset työskentelyasennot kuormittavat erityisesti niska-hartiaseudun ja yläraajojen lihaksia, joiden jatkuvalla rasittamisella on tutkitusti suora yhteys sairaspöissaoloihin ja ennenaikaisiin työkyvyttömyyseläkkeisiin. 2020-luvulla yhdeksi potentiaalisimmista vaihtoehdoista keventää tällaisissa työasunnoissa työskentelyä on noussut eksoskeletonit eli ulkoiset tukirangat, jotka keventävät lähes neljänneksellä lihaksiin kohdistuvaa kuormitusta.

Opinnäytetyössä selvitettiin aktiivisen yläraaja-eksoskeletonin soveltuvuutta rakennusalan tehtäviin käyttäjäkokemusten perusteella. Tutkimuksen kohteena oli saksalaisen sähkötyökaluvalmistaja Festoolin lokakuussa 2023 markkinoille tuoma ExoActive, joka on ensimmäinen aktiivinen yläraaja-eksoskeleton. Erona aiemmin saatavilla olleisiin passiivisiin yläraaja-eksoskeletoneihin on laitteen toiminnan perustuminen Festoolin 18 voltiseen akkuun ja siitä saatavaan energiaan, kun passiivisissa laitteissa ei ole erillistä virtalähdettä ja toiminta perustuu mekaaniseen energiaan.

Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Festool Suomi Oy:n kanssa, joka tarjosi testilaitteen käyttäjäkokeiluja varten. Testaajat käyttivät päivän verran ExoActive-laitetta, minkä jälkeen laitteen käytöstä kerättiin palaute työterveyslaitoksen (TTL) laatiman käytettävyykselyn perusteella. Tulosten perusteella ExoActive soveltui kaikkiin testaajien työtehtäviin heikosti tai ei lainkaan. Yleisin syy heikkoon soveltuvuuteen oli laitteen paino ja siitä johtuva rasitus. Laitteen raskaudesta kertoo laitteesta saatavan hyödyn ja laitteen painon suhde, joka on korkeimmillaankin vain 32 prosenttia, kun kilpailevilla passiivisilla laitteilla sama luku vaihtelee laitteen mukaan 250–360 prosentissa.

Tulokset antavat tärkeää palautetta tulevien laitteiden kehittämisen suhteen, kun kyseessä on vasta ensimmäinen Festoolin julkaisema eksoskeleton. Opinnäytetyössä on soveltuvuustutkimuksen ohella esitelty tällä hetkellä Suomessa saatavilla olevat eksoskeletonit. Tämän tavoitteena on lisätä tietoisuutta vaihtoehtojen monipuolisuudesta ja mahdollisuudesta keventää työskentelyä monissa eri tehtävissä.

Asiasanat: eksoskeleton, rakennusala, työterveys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

NIEMINEN OSSI:
Suitability of Active Upper-Limb Exoskeleton for the Construction Industry

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 6 pages
April 2024

In the construction industry, thousands of professionals work daily in tasks that require continuous overhead activities. Such working positions particularly strain the neck, shoulder, and upper limb muscles, with continuous strain having a direct link to sick leaves and premature retirement due to disability. In the 2020s, exoskeletons, i.e. external support frames, have emerged as one of the most promising options to lighten the strain in these working positions, reportedly reducing the load on muscles by nearly a quarter according to previous studies.

This thesis aimed to assess the suitability of an active upper-limb exoskeleton for construction tasks based on user experiences. The focus was on ExoActive, the first active upper-limb exoskeleton introduced by the German power tool manufacturer Festool in October 2023. Unlike previously available passive exoskeletons that operate on mechanical energy without an external power source, ExoActive is powered by Festool's 18-volt battery.

The study was conducted in collaboration with Festool Finland Oy, which provided the test device for user trials. Testers used the ExoActive device for a day, after which feedback was collected based on a usability survey by the Finnish Institute of Occupational Health (FIOH). The results indicated that ExoActive was poorly suited or not suited at all for all tested tasks, primarily due to the device's weight and the resulting strain. The benefit-to-weight ratio of the device was at best only 32 %, whereas competing passive devices report ratios between 250–360 %.

The results provide valuable feedback for the development of future devices, as this is only the first exoskeleton released by Festool. Besides assessing suitability, the thesis also presents currently available exoskeletons in Finland. The goal is to increase awareness of the diversity of options available and the potential to lighten strain in various tasks.

Key words: exoskeleton, construction industry, occupational health

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAUSTA JA TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	7
	2.1 Nykyiset työskentelymallit ja niiden ongelmat	7
	2.2 Aiemmat tutkimukset ja käyttökokemukset	8
	2.2.1 Euroopan työterveys- ja työturvallisuusviraston selvitys.....	8
	2.2.2 Työterveyslaitoksen tutkimukset.....	9
	2.2.3 Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tutkimus	10
	2.2.4 Subjektiiiviset tutkimukset	11
	2.2.5 Käyttökokemukset	11
3	EKSOSKELETONIT.....	13
	3.1 Historia.....	13
	3.1.1 Nicholas Yagn 1890	13
	3.1.2 Leslie C Kelley 1919.....	14
	3.1.3 General Electric 1965–1971	14
	3.1.4 Cybernics 1992.....	15
	3.1.5 Lockheed Martin 2011	15
	3.2 Saatavilla olevat eksoskeleton tyypit.....	16
	3.2.1 Yläraaja-eksoskeletonit	17
	3.2.2 Selän-eksoskeletonit	22
	3.2.3 Kokovartalo-eksoskeleton	26
	3.2.4 Kaularangan-eksoskeletonit	27
	3.2.5 Käden-eksoskeleton	28
	3.2.6 Kannattelua tukevat-eksoskeletonit.....	29
	3.3 Eksoskeletonien tulevaisuus	30
4	EXOACTIVE LAITTEEN PILOTOINTI	31
	4.1 Pilotoinnin lähtökohdat.....	31
	4.2 Laitteen testaukset ja käyttökokemukset.....	32
	4.3 Pilotoinnin tulokset	35
	4.4 Johtopäätökset.....	36
	4.5 Kehittämisehdotukset.....	37
5	POHDINTA	39
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET	45
	Liite 1. Eksoskeletonien tarpeellisuuden arviointityökalu EKS@.....	45
	Liite 2. Taulukko Suomessa saatavilla olevista yläraaja-eksoskeletoneista.....	50

ERITYISSANASTO

Eksoskeleton	Kehon ulkopuolelle puettava mekaaninen laite, joka mahdollistaa ihmisen suorituskyvyn tukemisen tai lisäämisen
Ulkoinen tukiranka	Yleisnimitys eksoskeletoneille
Aktiivinen eksoskeleton	Eksoskeleton, jossa on erillinen voimanlähde tuottamassa liikkeiden tukemiseen tai tehostamiseen käytettävän lisävoiman. Aktiiviset anturit havainnoivat käyttäjän liikkeitä ja sitä kautta laite tarjoaa tukea ja lisävoimaa käyttäjän haluamissa tilanteissa.
Passiivinen eksoskeleton	Eksoskeleton, jonka toiminta perustuu mekaanisesti laitteessa oleviin jousiin varastoituvan liike-energian keräämisestä ja vapautumisesta käyttäjän työskentelyasennon mukaan.
TULES	Tuki- ja liikuntaelinsairaudet
Subjektiiivinen	Henkilön omakohtaiseen kokemukseen perustuva, ei toistettavissa oleva

1 JOHDANTO

Rakennusala on tunnetusti fyysisesti vaativa toimiala, jossa työntekijät altistuvat säännöllisesti toistuville liikkeille, raskaiden taakkojen nostamiselle ja pitkäkestoiselle staattiselle kuormitukselle. Viime vuosina puettavan teknologian kehittyessä eksoskeletoinit ovat nousseet esiin potentiaalisina ratkaisuinäihin haasteisiin.

Viimeisen kahden vuoden sisään on julkaistu Työterveyslaitoksen ja Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tieteelliset tutkimukset yläraaja-eksoskeletoinin käytöstä. Molemmissa tutkimuksissa päästiin mittausten ja toimintakokeiden tuloksena johtopäätökseen, että yläraaja-eksoskeletoinin käytöllä voidaan merkittävässä määrin vähentää lihasten kuormittuneisuutta erityisesti työskennellessä kädet koholla. Molemmissa tutkimuksissa käytettiin passiivisia yläraaja-eksoskeletoineja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää aktiivisen yläraaja-eksoskeletoinin soveltuvuutta rakennusalan tehtäviin, joihin kuuluu kädet koholla työskentelyä. Tutkimuksen kohteena on saksalaisen työkaluvalmistaja Festoolin aktiivinen yläraaja-eksoskeletoini, joka julkaistiin lokakuussa 2023. Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Festool Suomi Oy:n kanssa.

Opinnäytetyö on jaettu kolmeen osa-alueeseen. Ensimmäiseen on koottu yleistietoa rakennusalan ergonomiasta, nykyisistä toimintamalleista ja aiemmin julkaistujen tutkimusten johtopäätöksistä ja huomioista eksoskeletoinin käyttöön liittyen. Toiseen osa-alueeseen on koottu tietoa eksoskeletoinin historiasta, nykyisin tarjolla olevista vaihtoehdoista ja tulevaisuuden näkymistä. Kolmanteen osa-alueeseen on selostettu ExoActive laitteen pilotointi, tulokset, johtopäätökset ja kehittämissuhteet.

2 TAUSTA JA TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Nykyiset työskentelymallit ja niiden ongelmat

Rakennusala on jo lukemattomia vuosia luottanut tavanomaisiin työtekniikoihin, jotka vaativat työntekijöiltä vaativaa fyysistä panostusta ja sopeutumista haastaviin työympäristöihin. Kädet koholla työskentely on tavallista useissa rakennustyöissä, kuten alakattoasennuksissa, maalaamisessa ja sähkötyöissä. Tällaisissa asennoissa työskenteleminen aiheuttaa niska-hartiaseudun lihasjännitystä, joka voi ajan myötä johtaa lihasväsymykseen sekä mahdolliseen tulehdusreaktion lihaskudoksessa. Niska-hartiaseudun vaivat ovat tyypillinen esimerkki tule-sairaudesta. TULE-sairaudet eivät vain estä työntekijöiden tehtävien suorittamista ja yleistä terveyttä, vaan aiheuttavat myös huomattavan taloudellisen rasituksen yksilöille ja yrityksille sairauslomien ja varhaisten työkyvyttömyyseläkkeiden kautta.

(Mänttari ym. 2021, 3)

Vuonna 2022 TULE-sairaudet olivat yleisin syy hakeutua lääkäriin ja joutua jäämään työkyvyttömyyseläkkeelle. Ongelman vakavuudesta kertoo, että TULE-sairauksista johtuvista poissaoloista seuraa tällä hetkellä noin 1,5 miljardin euron vuosittaiset kustannukset työnantajille. Kustannukset eivät kohdistu vain työnantajille vaan yhteiskunta kärsii yhtä lailla, kun Kela joutuu vuosittain korvaamaan lähes 4 miljoonaa sairauspäivää. Samalla menetetään jopa 12 500 henkilötyövuotta. (Tuki- ja liikuntaelinliitto Tule ry. 2023.)

Vaikka rakennusalalla on tehty merkittäviä investointeja työturvallisuuden parantamiseksi, fyysisen rasituksen minimoimiseen ei ole kiinnitetty paljon huomiota. Tekniikat, jotka voivat vähentää tarvetta työskennellä kädet koholla tai tarjota ergonomista apua näissä toimissa, ovat harvinaisia. Tämä johtuu osittain siitä, että perinteiset työtavat ovat vakiintuneet ja niiden muuttaminen edellyttää uuden teknologian omaksumista ja työtapojen muutosta. Lisäksi, vaikka fyysisen stressin lievittämiseen tähtäviä työkaluja ja tekniikoita on tullut saataville, niiden käyttöönotto on usein hidasta korkeiden kustannusten, riittämättömän perehdyttämisen ja rakennusalalle juurtuneiden asenteiden takia.

Siksi rakennustyöntekijät joutuvat lähes päivittäin alttiiksi työtehtäville, jotka voivat vahingoittaa heidän fyysistä terveyttään ja pahimmillaan johtaa sairaspöissa-oloihin tai jopa ennen aikaiseen työkyvyttömyyseläkkeeseen. Viimeisen viiden vuoden aikana on vihdoinkin lähdetty kiinnittämään lisää huomiota työkyvyn ylläpitämiseen ja yksi potentiaalisimmista keinoista tähän on erilaiset eksoskelelonit.

2.2 Aiemmat tutkimukset ja käyttökokemukset

2.2.1 Euroopan työterveys- ja työturvallisuusviraston selvitys

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA) on laatinut eksoskeleloneihin liittyen muiston otsikolla "Eksoskelelonien käytön vaikutus työsuojeluun". Muistiossa todetaan eksoskelelonien käyttöönolon erilaisissa työpaikoissa lisääntyneen ja jatkossa käytön odotetaan vain yleistyvän. Vaikka niiden käytöstä ja hyödyistä on saatu lupaavia tuloksia, selvitys näkee eksoskelelonien yleisty-misessä merkittäviä haasteita ja alle on listattu niistä viisi, jotka tulee ottaa huo-mioon.

1. Uusien työsuojelukysymysten esiin nouseminen, kuten kuormituksen uu-delleenjakautuminen ja eksoskelelonien vaikutus kehon motoriseen hal-lintaan, herättää huolta terveyshaitoista. Tämä korostaa tarvetta uudenlai-seen riskienhallintaan ja työsuojelun tarkasteluun.
2. Eksoskelelonien käyttö voi johtaa ergonomian laiminlyöntiin työpaikoilla. Riskinä on, että eksoskelelonien käytöllä syrjäytetään ihmiskeskeistä suunnittelua ergonomiassa ja työoloissa. Tämä voi pahentaa työympäris-tön fyysisiä olosuhteita.
3. Tieteellisen näytön puute eksoskelelonien tehokkuudesta ja turvallisuudesta rajoittaa niiden laajamittaista hyväksyntää ja käyttöönottoa. Lisäksi pitkäaikaisvaikutusten tuntemattomuus ihmisen biomekaniikkaan ja fysio-logiaan luo epävarmuutta niiden jatkuvasta käytöstä.
4. Eksoskelelonien sertifiointin ja standardoinnin puute tekee niiden turvalli-sen käytön varmistamisesta haastavaa. Puuttuvat yhtenäiset säädökset ja standardit vaikeuttavat niiden käyttöönottoa käytännössä.

5. Käyttäjien hyväksyntä ja psykososiaaliset tekijät ovat keskeisiä haasteita. Työntekijöiden kokema epämukavuus, leimautumisen pelko ja sosiaalisten vaikutusten hallinta ovat tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat eksoskeletonien hyväksyntään työpaikoilla.

Selvityksessä korostetaan uusien tutkimusten tärkeyttä ja sitä kautta eksoskeletonien potentiaalin hyödyntämistä turvallisesti ja samalla varmistaen työntekijöiden hyvinvoinnin. (Peters & Wischniewski, 2019)

2.2.2 Työterveyslaitoksen tutkimukset

Työterveyslaitoksella on toteutettu kaksi merkittävää tutkimusta liittyen eksoskeletonien käyttöön ja niiden mahdollisuuksiin keventää työn kuormitusta. Ensimmäinen julkaistuista tutkimuksista on erikoistutkija Satu Mänttärin johdolla toteutettu ”Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoisen tukirangan avulla”. Tutkimuksessa selvitettiin passiivisen Skelex yläraaja-eksoskeletonin mahdollisuutta keventää kädet koholla työskentelyä. Tätä mitattiin ensin vakioiduissa laboratorio olosuhteissa ja toiseksi todellisissa työkohteissa rakennusalalla. Tutkimuksessa mitattujen tulosten mukaan passiivinen yläraaja-eksoskeleton vähensi lihasten kuormittuneisuutta keskimäärin 23 % molemmissa tutkimusympäristöissä. Eniten hyötyä laitteen käytöstä todettiin olevan tilanteissa, joissa olkavarsi nousee yli vaakatason. Tutkimus suosittelee eksoskeletonin käyttöä näihin tilanteisiin, jos työtehtävän kesto on yli 20 minuuttia. (Mänttari ym. 2021, 35–38)

Tutkimuksessa korostetaan eksoskeletonin olevan työtä keventävä apuväline, eikä sen tarkoituksena ole tehdä laitteen käyttäjästä vahvempaa ja voimakkaampaa työntekijää. Ylipäänsä eksoskeletonin käyttö tulisi aina perustua tarpeeseen ja tämän tarpeen havaitsemisen helpottamiseksi Mänttärin tutkimuksessa laadittiin hyötyjen arviointityökalu nimeltään EKS@. EKS@ koostuu tarpeellisuutta arvioivista kuudesta kysymyksestä, joiden perusteella saa arvion yläraaja-eksoskeletonin hyödyllisyydestä siinä työtehtävässä mitä arvioidaan. Tutkimus suosittelee tässä tapauksessa kokeilemaan eksoskeletonin käyttöä työtehtävässä, jonka jälkeen vastataan arviointityökalun toiseen osaan. Toisessa osassa vasta-

taan kymmeneen väittämään liittyen laitteen käyttökokemuksiin. Tämän käytettävyysskyselyn perusteella saa arvion yläraaja-eksoskeletonin soveltuvuudesta työtehtävään ja perusteet laitteen hankkimiselle päivittäiseen käyttöön. EKS@ on työn lopussa liitteenä 1 ja sitä on hyödynnetty ExoActive laitteen pilotoinnissa. (Mänttari ym. 2021, 33–34)

Toinen TTL:n julkaisema tutkimus eksoskeletoneihin liittyen on johtavan tutkijan Juha Oksan johdolla toteutettu ”Nostotyön keventäminen ulkoisen tukirangan avulla”. Tutkimuksessa aiheena oli selvittää BackX V3 passiivisen selkäeksoskeletonin keventävää vaikutusta vakioidussa laboratorio olosuhteissa ja autenttiossa työympäristössä. Tässä tutkimuksissa käytössä olleen eksoskeletonin hyödyt todettiin vain vähäisiksi ja laitteen todettiin jopa lisäävän osittain lihasten kuormittuneisuutta joissain työtilanteissa. Tutkimuksen johtopäätöksessä korostetaan kriittistä suhtautumista eksoskeleton laitteiden valmistajien lupauksiin niiden tehokkuudesta keventää työntekoa ja muistutetaan tarkkaan harkintaan laitteiden käyttöönoton suhteen. (Oksa ym. 2022, 7, 37–40)

2.2.3 Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tutkimus

Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tutkimuksessa ”Yläraaja-eksoskeletonien vaikutusten vertailu kädet koholla työskentelyssä” vertailtiin neljän passiivisen yläraaja-eksoskeletonin vaikutusta lihasaktiivisuuteen. Tutkimuksessa käytössä olleet eksoskeletonit olivat Skelex 360, Hilti HA EXO-01, Comau Mate ja Hapo MS. Laitteita tutkittiin vakioiduissa laboratoriokokeissa ja autenttisissa työtehtävissä työpaikoilla. Tutkimustulosten perusteella jokainen testatuista laitteista vähensi yläraajaa kannattelevien lihasten aktiivisuutta suhteessa ilman laitetta työskentelyyn ja sitä kautta niillä on potentiaalia vähentää kädet koholla työskentelyn raskuutta ja siitä seuraavia ongelmia.

Tutkimuksessa havaittiin merkittäviä laitekohtaisia eroja käytettävyydessä ja lihasaktiivisuustuloksissa, jolloin jatkon kannalta on tärkeää, että eri työtehtäviin löydetään parhaiten sopivat eksoskeletonit. Tähän on edellytyksenä työpaikoilla tapahtuvan tutkimuksen lisääminen ja sitä kautta potentiaalisten käyttökohteiden ja kehitystarpeiden löytäminen. (Kulmala ym. 2023, 5, 15)

2.2.4 Subjektiiiset tutkimukset

Eksoskeletonien käytöstä on edellä mainittujen tutkimusten lisäksi valmistunut kaksi muuta tutkimusta, joissa saadut tulokset ovat perustuneet testihenkilöiden subjektiivisiin kokemuksiin. Näistä ensimmäinen on Roni Eeronheimon opinnäytetyö ”Skelex - työergonomian parantaminen ja tuotannon tehostaminen”. Opinnäytetyössä tutkittiin Skelex 360 XFR passiivisen yläraaja-eksoskeletonin soveltuvuutta rakennusalan tehtäviin. Tutkimuksen tulosten mukaan Skelex-eksoskeletonin käytön havaittiin vähentävän niska- ja hartiakipuja sekä keventävän käsien rasitusta työskenneltäessä kädet koholla. Yhden testaaajan yöllinen leposärky oli laitteen käytön myötä poistunut kokonaan. Saadut tulokset perustuvat työssä neljän testaaajan subjektiivisiin kokemuksiin. (Eeronheimo 2021, 35)

Toinen eksoskeletoneihin liittyvä subjektiivinen tutkimus on Työtehoseuran julkaisema ”Ulkoiset tukirangat alkutuotannon töissä”. Tutkimuksessa tutkittiin passiivisen selkä- ja yläraaja-eksoskeletonin subjektiivisia kokemuksia ruuan alkutuotannossa. Testatut laitteet olivat Auxivo LiftSuit 2.0 -nostopuku ja ErgoSanté HAPO FRONT-yläraajatuki. Testaukset suoritettiin kokeneilla maatalous- ja puutarhayrittäjillä, sekä rannikkokalastajilla. Käyttökokemusten perusteella molempien laitteiden katsottiin soveltuvan useisiin alkutuotannon töihin ja niillä koettiin olevan kuormitusta vähentävä vaikutus. Laitteiden käyttö koettiin myös miellyttäväksi. Tutkimus on linjassa ulkomaisissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. (Karttunen & Tuure 2023, 19–20)

2.2.5 Käyttökokemukset

Eksoskeletonien käytöstä ja käyttökokemuksista on julkaistu useita artikkeleita, joissa laitteiden käyttöä on kommentoitu.

- Skanskan työhyvinvointipäällikkö Helena Pekkanen kertoi Skelex 360-XFR laitteen käyttäjiltä saadusta palautteesta ”Tukirangan käyttäjiltä saamamme palautteen perusteella unikin paranee, kun erilaiset oireet vähentyvät ja palautuminen työnteosta tehostuu. Se vaikuttaa suoraan myös työn turvallisuuteen, Pekkanen huomauttaa.” (Rakentajan toimitus 2022)

- Prosessikehittäjä Juha-Pekka Saukkokoski kokeili Skelex 360-XFR laitetta rautavalukomponenttien nostamisessa ja kommentoi sitä ” Nostoissa exoskeleton keventää selkeästi. Kevyt laitteisto selässä ei kuitenkaan haitannut liikkumista.” (Silvast n.d)
- Muurari Topias Kauppila kertoi Skelex 360-XFR laitteen käytöstä liittyen Työterveyslaitoksen tutkimukseen ”Jouset puskiivat käsivarsia ylöspäin kädet koholla muuratessa, mutta myös alaspäin työskennellessä laite kannatteli käsivarsia jonkin verran. Tasoitemiehemme koki, että laitteesta oli iso hyöty etenkin hänen levittäessään laastia seinälle alhaalta ylöspäin.” (Rakennusteollisuus 2021)
- Sähkö oy Turun vanhempi asentaja Markku Koppanen tuumasi Skelex 360-XFR laitteen kokeilusta ” Minä olisin tarvinnut tällaisen jo vuosia sitten.” (Arvinen 2020)
- Puutarhayrittäjä Jouko Heinonen kommentoi Skelex 360-XFR laitteen vaikutuksista hyvinvointiinsa vuoden käytön jälkeen:

Hartiat ja olkapäät eivät ole enää ollenkaan jumissa! Aikaisemmin olin työpäivien jälkeen todella uuvuksissa, mutta nyt toivun paremmin ja nopeammin. Investointi ei siis kohdistu ainoastaan hyvinvointiin työssä, vaan elämänlaadun paranemiseen ylipäättäen. Toivon, että tämän hankinnan avulla voin jonain päivänä nauttia eläkepäivistä ilman työperäisten särkyjen lääkitsemistä. (Meditas 2020)
- Oulun Arboristipalvelu Oy:n yrittäjän Markku Laitilan kommentista Skelex 360-XFR laitteen testaamisesta kirjoitti Lapin Kansa:

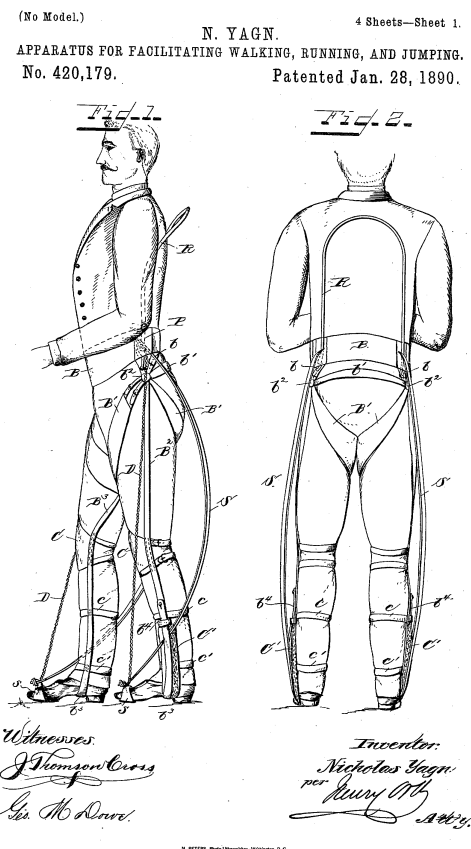
Eksoskeleton on Laitilan mukaan kevyen tuntuinen päällä. Jos kädet ovat alhaalla, laitetta ei edes huomaa. Esimerkiksi raivaussahan valjaat painavat saman verran. Kun käsiä nostaa työskentelykorkeuteen ylemmäs työkalun kanssa, kädet nousevat keveämmin ja työkalua jaksaa paremmin kannatella. Laitila uskoo, että tukirangan avulla työn tehokkuus paranee. Keventävän laitteen kanssa työtahti kokemusten mukaan helposti myös kasvaa. (Klemettilä 2023)

3 EKSOSKELETONIT

3.1 Historia

3.1.1 Nicholas Yagn 1890

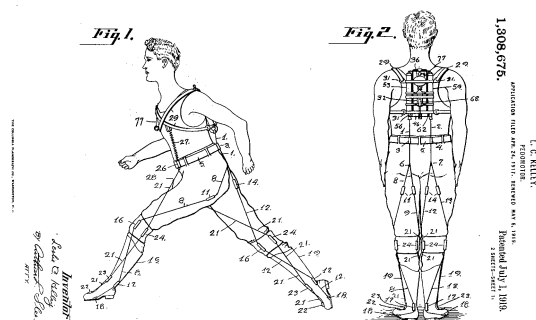
Ensimmäiset viittaukset eksoskeletonien kaltaisiin laitteisiin on vuodelta 1890, jolloin venäläinen insinööri Nicholas Yagn patentoi USA:n patenttitoimistoon laitteen nimellä "Apparatus for facilitating walking, running, and jumping". Laitteen tarkoituksena oli nimensä perusteella helpottaa kävelyä, juoksemista ja hyppäämistä ja sen toiminta perustui ensimmäisissä versioissa jousiin ja viimeisessä versiossa painekaasupusseihin varastoituvaan energiaan. Kuvassa 1 on ensimmäinen versio Yangin eksoskeletonista. (Yang 1890)



KUVA 1. Historian ensimmäinen eksoskeleton vuodelta 1890 (Yang 1890)

3.1.2 Leslie C Kelley 1919

Vuonna 1919 yhdysvaltalainen Leslie C Kelley haki patentin hänen keksinnölleen nimeltä "Pedomotor". Kyseessä oli kehon ulkopuolelle tuleva aktiivinen eksoskeletton, jonka voimanlähteenä oli höyrymoottori. Laitteen tarkoituksena oli helpottaa juoksemista ja kävelyä sekä lisätä juoksemisen nopeutta. Kuvassa 2 on Kelley'n versio eksoskelettonista. (Kelley 1919)



KUVA 2. "Pedomotor" aktiivinen eksoskeletton vuodelta 1919 (Kelley 1919)

3.1.3 General Electric 1965–1971

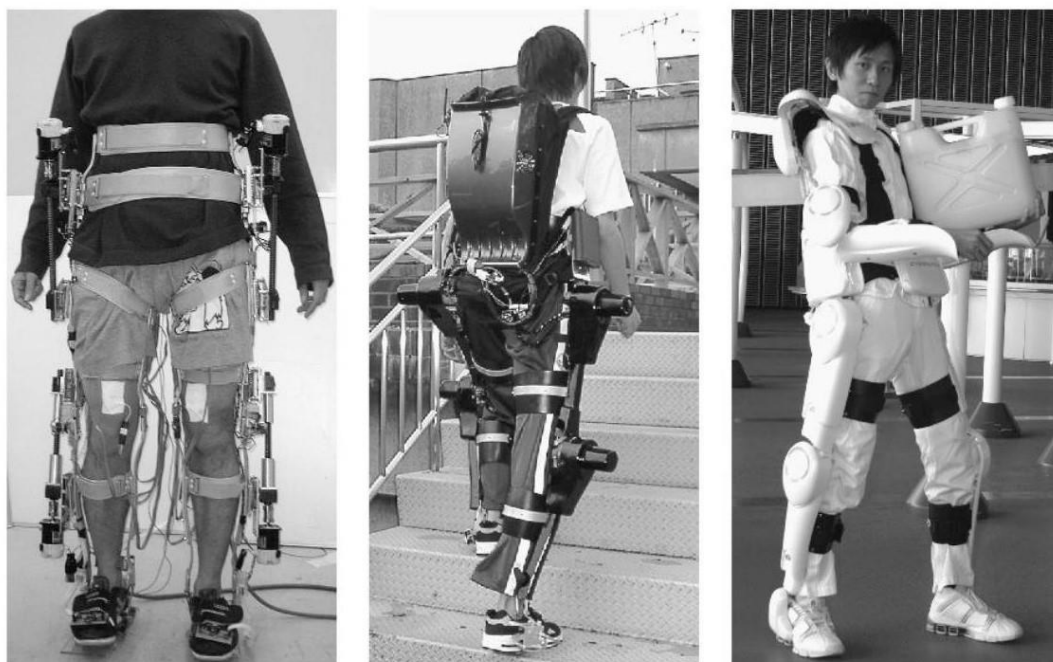
Ensimmäinen prototyyppiä asti päätyneet aktiivinen kokovartalo-eksoskeletton kehitettiin yhteistyössä yhdysvaltalaisen General Electricin ja Yhdysvaltain armeijan toimesta. Kyseessä oli "Hardiman" (Kuva 3) projektinimeä kantanut laite, jonka korkeus oli 182 cm ja paino 680 kg. Laitteen tavoitteena oli pystyä nostaa painonsa verran kuormaa ja siirtää se vaivattomasti paikasta toiseen. "Hardiman" projekti lopetettiin vuonna 1971, kun todettiin laitteelle asetetut tavoitteet mahdottomiksi saavuttaa. (Hoggett 2010)



KUVA 3. "Hardiman" aktiivinen kokovartalo-eksoskeletton vuodelta 1971 (Hoggett 2010)

3.1.4 Cyberrics 1992

Japanilainen Cyberrics on kehittänyt vuodesta 1992 lähtien "HAL" nimeä kantaavaa aktiivista eksoskeletonia. Projektia on johtanut tähän päivään asti Yoshiyuki Sankai. "HAL" nimi tulee sanoista Hybrid Assistive Limb ja viittaa laitteen toimintaan joko käyttäjän liikkeen perusteella tai autonomisesti tilanteissa, joissa käyttäjällä on esimerkiksi alaraajahalvautuminen kyseessä. Vuonna 2014 julkaistut versiot "HAL for Labor Support (Lumbar type)" ja "HAL for Care Support (Lumbar type)" ovat maailman ensimmäiset laitteet, joille on myönnetty ISO 13482: 2014-sertifikaatit henkilökohtaisina hoitorobotteina. Nämä ISO 13482 -sertifikaatit osoittavat, että nämä tuotteet täyttävät henkilökohtaisten hoitorobottien kansainväliset turvallisuusstandardit. Kuvassa 4 on "HAL" laitteen kehityskaari alkaen 1996 julkaistusta ensimmäisestä versiosta. (Sankai 2007; Cyberrics 2014)



HAL-1 Type-B(1996-1999) HAL-3(1999-2003) HAL-5 Type-B(2005-)

KUVA 4. "HAL" eksoskeletonin kehityksen vaiheita (Sankai 2007)

3.1.5 Lockheed Martin 2011

Cyberricsin eksoskeletonin innoittama on julkaistu paljon muitakin vastaavan tyyppisiä laitteita, jotka ovat keskittyneet pääasiassa terveydenhuollon ja sotatollisuuden tarpeisiin. Nämä laitteet ovat olleet rakenteeltaan monimutkaisia, hinnaltaan todella korkeita ja niiden kehitys on lopetettu vuosien kehityksen jälkeen.

Tyypiesimerkki tällaisesta projektista oli yhdysvaltalaisen Lockheed Martinin aktiivinen alaraaja-eksoskeleton projekti HULC, mikä on kuvassa 5. Laitteen nimi tulee sanoista Human Universal Load Carrier, mikä kuvastaa laitteen tarkoitusta toimia käyttäjän kuormankantokykyä ja jaksamista parantavana tukirankana. Laitetta käyttävälle henkilölle luvattiin jopa 90 kilon kuorman kantaminen 20 km matkan ajan. Viimeiseksi jäänyt kehitysversio julkaistiin 2011 suurin odotuksin. Julkaisun jälkeen tehdyissä testeissä HULC osoittautui kuitenkin odotuksiin nähden pettymykseksi ja projekti meni jäihin. Testit osoittivat 40 kiloisen laitteen nostavan käyttäjänsä energian kulutusta huomattavasti ja esimerkiksi hapenkulutus kasvoi laitteen käytön seurauksena 39 %. Lisäksi ihmisen ja HULCin väliltä puuttui koordinaatio, jonka seurauksena laitteen kanssa liikkuminen oli haastavaa ja epämukavaa. Vastaavia projekteja on ollut erityisesti Yhdysvaltain armeijaan liittyen monia. Vasta 2010-luvun lopulla markkinoille alkoi ilmestyämään laajemmalle käyttäjäkunnalle tarkoitettuja eksoskeletoineja, joiden hinta ja käytettävyys sopivat yhä useammalla työssäkäyvälle. (Cornwall 2015; Chang 2015)



KUVA 5. Lockheed Martin HULC (Cornwall 2015)

3.2 Saatavilla olevat eksoskeleton tyypit

Opinnäytetyön toteutuksen aikaan Suomessa on saatavilla jo moneen eri käyttötarkoitukseen soveltuvia eksoskeletoineja. Mallit on lajiteltu eri alalukuihin sen mukaan, minkä alueen lihaksia niillä on tarkoitus tukea ja esitelty jokaisen laitteen tärkeimmät tiedot yksitellen. Yläraaja-eksoskeletonien kohdalla opinnäytetyön lopussa on liitteenä 2 taulukko, josta on vertailtavissa yksittäisten laitteiden ominaisuuksia.

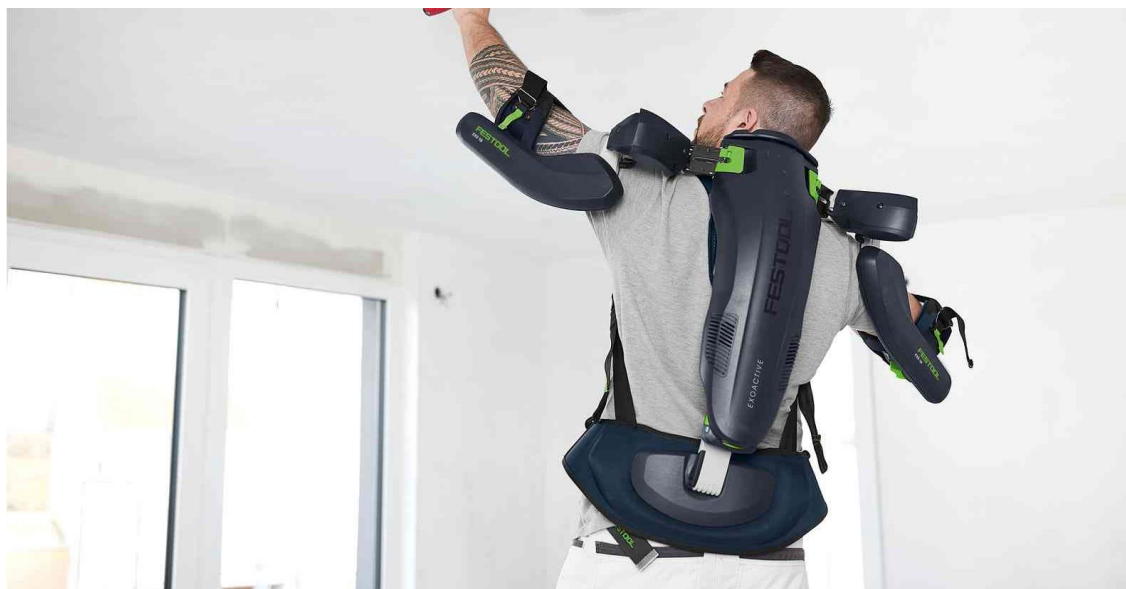
3.2.1 Yläraaja-eksoskeletonit

Yläraaja-eksoskeletonit ovat laitteita, jotka tukevat nimensä mukaisesti käyttäjän yläraajoja työskennellessä kädet koholla. Työn toteutuksen aikaan saatavilla olevat mallit ovat:

1. Festool ExoActive
2. Hilti EXO-S
3. Skelex 360-XFR
4. Auxivo DeltaSuit ®
5. Hapo MS
6. Comau MATE-XT

1. Festool ExoActive (KUVA 6)

ExoActive on ensimmäinen Suomen markkinoille julkaistu aktiivinen yläraaja-eksoskeleton. Laitteen valmistaja on saksalainen Festool, joka tunnetaan parhaiten ammattilaistason sähkötyökalujen valmistuksesta. ExoActive laitteen ollessa aktiivinen eksoskeleton, sen toiminta perustaa 18 voltin litiumioniakusta saatavaan energiaan, joka pyörittää sisäänrakennettua paineilmakompressoria. Kompressorista keventämiseen tarvittava energia siirtyy pneumaattisesti, jonka keventävä määrä on säädettävissä kättä kohden välillä 0–5 kg. ExoActive tunnistaa käyttäjän käsien ja vartalon asennosta, milloin laite antaa tukea. Kaikki laitteen ominaisuudet ovat säädettävissä kiinteän kauko-ohjaimen tai Bluetooth® avulla mobiililaitteen sovelluksessa. Laite painaa akun kanssa 7,6 kg ja kuljetuslaatikossa varusteineen 13,3 kg. Työnkuvan mukaan laitteessa on vaihdettava niskatuki, sen mukaan missä asennossa työskentelee. Hygienian kannalta laitteen tekstiiliosat ovat pestävissä ja vaihdettavissa. Laitteen säädöt on suunniteltu niin, että sama laite sopii kaikenkokoisille käyttäjille. Veroton hinta laitteelle on 2800 €. (Festool 2024)



KUVA 6. Festool ExoActive (Festool 2024)

2. Hilti EXO-S (KUVA 7)

Hilti on maailmanlaajuisesti tunnettu liechtensteinilainen sähkötyökalujen valmistaja. Yhteistyössä saksalaisen biomekaniikkayritys Ottobock:in kanssa Hilti toi markkinoille EXO-01 passiivisen yläraaja-eksokeletonin tammikuussa 2021. Tämän seuraajana on 2023 julkaistu EXO-S. EXO-S on vastaavasti passiivinen yläraaja-eksokeleton ja se painaa 2,4 kg. Laite tarjoaa kättä kohden 5,5 kg tukea ja tuen määrä on säädettävissä portaattomasti. Laitteessa on mukana irroitettava niskatuki ja eksokeletonia on tarjolla kahdessa eri koossa hauislihaksen ympärysmittan mukaan. Veroton hinta laitteelle on 1471 €. (Hilti.fi n.d.a.; Hilti.fi n.d.b.; Salmelainen 2024)



KUVA 7. Hilti EXO-S (Hilti.fi n.d.b.)

3. Skelex 360-XFR (KUVA 8)

Skelex on hollantilainen passiivinen yläraaja-eksoskeleton, josta ensimmäinen versio julkaistiin jo 2015 keventämään työskentelyä eurooppalaisen lentokonevalmistaja Airbusin tehtaille. Vuodesta 2017 eteenpäin Skelex on löytynyt yli 50 kansainvälisen yrityksen työntekijöiden käytöstä eri teollisuusaloilta. Luvussa 2.2 kerrotuista tutkimuksista kolmessa oli käytössä Skelex 360-XFR ja laitteella on näiden tutkimusten perusteella selvää vaikutusta työn keventämisiin. Laite painaa 2,3 kg ja tarjoaa kättä kohden 0,5–4 kg tukea. Laitteen yhteyteen on tarjolla erillinen niskatuki, jonka käyttö onnistuu myös yksinään. Skelexin valikoimaan kuuluu tavallisen version lisäksi hitsaustöihin suunniteltu Skelex 360-Welding, jossa laite on suunniteltu kestäämään kipinöitä. Veroton hinta laitteelle on noin 4500 €. Laitteen maahantuojana on Meditas Oy. (Skelex 2024a; Skelex 2024b; Meditas 2024a; Luotola 2019)



KUVA 8. Skelex 360-XFR (Skelex 2024a)

4. Auxivo DeltaSuit ® (KUVA 9)

DeltaSuit ® on sveitsiläisen Auxivon valmistama passiivinen yläraaja-eksoskeleto, joka on julkaistu 2023. Laitteen muotoilussa on pyritty yhdistämään saumattomasti jäykät ja pehmeät komponentit saavuttaen laitteen käyttäjille korkean tuen unohtamatta käyttömukavuutta. DeltaSuit ® on tarjolla kahdessa koossa ja painoa laitteella on noin 2 kg. Veroton hinta laitteelle on 2290 €. Auxivon maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024b)



KUVA 9. Auxivo DeltaSuit ® (Meditas 2024b)

5. Hapo Front (aiemmin nimellä Hapo MS) (KUVA 10)

Hapo Front on ranskalaisen Ergosanté yrityksen passiivinen yläraaja-eksoskeleto. Kyseessä on tällä hetkellä kevyin eksoskeleto laitteen painon ollessa vain 1,3 kg. Laitetta on saatavilla vain yhdessä koossa ja sen luvataan mukautuvan kaikille käyttäjille. Annettavan tuen määrässä on tarjolla keltainen jousisarja 3 kg tuella ja sininen 2 kg tuella kättä kohden, ja säätö tapahtuu komposiittijousen vaihdolla. Veroton hinta laitteelle on noin 2100 €. Hapo eksoskeletoin maahantuoja on Meditas Oy. (Ergosante 2024; Hartico 2022a)



KUVA 10. Hapo Front (aiemmin nimellä Hapo MS) (Hartico 2022a)

6. Comau MATE-XT (KUVA 11)

MATE-XT on italialaisen Comau yrityksen passiivinen yläraaja-eksoskeleton. Laitteella on IP54 luokitus, joka kertoo sen pölyn ja veden kestosta. MATE-XT on saatavilla kahdessa eri koossa ja sillä on painoa 3 kg. Laitteelle luvataan kättä kohden jopa 5,5 kg nostotuki, joka on korkein saatavilla olevista laitteista. Yleisesti tuen määrä säädettävissä käyttäjän mukaan. Veroton hinta laitteelle on noin 5000 €. MATE-XT eksoskeletonin maahantuoja on Exofinland Oy. (Exofinland 2023a; Kulmala ym. 2023, 5; Hartico 2022b)



KUVA 11. Comau MATE-XT (Hartico 2022b)

3.2.2 Selän-eksoskeletonit

Selän-eksoskeleton malleilla on yleispiirteensä selän tukeminen ja siihen kohdistuvan rasituksen pienentäminen. Työn toteutuksen aikaan saatavilla olevat mallit ovat:

1. Japet W
2. Auxivo LIFTSUIT® 2.0
3. Hapo
4. NooNee Chairless Chair
5. Laevo V2.5 ja FLEX
6. Back Protect

1. Japet W (KUVA 12)

Japet W on noin 2 kiloa painava aktiivinen selän-eksoskeleton, joka on suunniteltu erityisesti hyödyttämään selkävaivoista jo kärsiviä työntekijöitä. Laitteen toiminta perustuu lannerangan paineen vähentämiseen ja lihaksien aktivointiin. Tehotasoja löytyy neljä erilaista, samoin kuin kokovaihtoehtoja. Laitteen veroton hinta on 7700 €. Laitteen maahantuojia Meditas Oy kertoo verkkosivuillaan laitteen toiminnasta: (Hartico 2022c)

Motorisoitu tukiranka toimii ladattavilla akuilla, jotka mahdollistavat rangon tuen ja antavat pienen vedon lannerankaan säilyttäen kuitenkin selän toiminnan ja liikkuvuuden. Tutkimusten perusteella lihasten aktivaatiotaso säilyy, vaikka laite tukee rankaa ulkopuolelta. Patentoitu teknologia vähentää kipua ja mahdollistaa lihasten vahvistamisen selkävasta huolimatta. (Meditas 2024c)



KUVA 12. Japet W (Hartico 2022c)

2. Auxivo LIFTSUIT® 2.0 (KUVA 13)

LIFTSUIT® 2.0 on noin kilon painoinen passiivinen selän-eksoskeleton, jonka käytöllä kevennetään selkälihakseen kohdistuvaa kuormaa nostotilanteissa ja työskennellessä vartalo eteenpäin kallistuneena. Laitteen toiminta perustuu elastisiin tekstiilijousiin varastoituvaan energiaan. Avustusmekanismin kytkeminen päälle ja pois tapahtuu laitteen rinnan kohdalla olevista lenkeistä. LIFTSUIT® 2.0 oli testattavana luvussa 2.2.4 selostetussa TTS Työtehoseuran tutkimuksessa. Kokoja on tarjolla kaksi S/M ja L/XL. Laitteen veroton hinta on 990 €. Auxivon maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024d; Hartico 2022d)



KUVA 13. Auxivo LIFTSUIT® 2.0 (Hartico 2022d)

3. Hapo (KUVA 14)

Hapo on 1,2 kg painava passiivinen selän-eksoskeleton, jolla luvataan jopa 14 kg tuki selälle nostoissa ja staattisessa etunojassa. Laitteen toiminta perustuu komposiittijousiin. Laitetta on saatavilla kolmessa eri koossa. Laitteen veroton hinta on 1590 € ja laitetta tuo maahan Meditas Oy. (Meditas 2024e; Hartico 2022e)



KUVA 14. Hapo (Hartico 2022e)

4. NooNee Chairless Chair (KUVA 15)

Saksalaisen NooNeen valmistama Chairless Chair passiivinen selän-eksoskeleton. Laite on nimensä mukaisesti tuoliton tuoli, joka kulkee kiinni käyttäjän jaloissa tarjoten aina tarpeen mukaan istumapaikan. Käytön luvataan vahvistavan selkä- ja reisilihaksia, kun selkäranka pysyy suurempana. Laitteen veroton hinta on 2190 € ja laitetta tuo maahan Meditas Oy. (Meditas 2024f; Hartico 2022f)



KUVA 15. NooNee Chairless Chair (Hartico 2022f)

5. Laevo V2.5 ja FLEX (KUVA 16)

Hollantilaisen Laevon V2.5 ja Flex ovat passiivisia selän-eksoskeletoneja, joiden luvataan vähentävän selän kuormitusta nostoissa ja eteenpäin nojatessa. Vanhempi versio V2.5 painaa 2,8 kg ja uudempi FLEX noin 4 kiloa. FLEX malli on kehitetty käyttäjäkokemusten pohjalta ja se soveltuu paremmin kaikenkokoisille henkilöille ja tarjoaa paremman tuen verrattuna V2.5 malliin. Lisäksi FLEX mallilta löytyy IP55, joka kertoo sen pölyn ja kosteuden sietokyvystä. Merkittävänä erona joihinkin työtehtäviin on, että V2.5 laitteen kanssa on mahdollista istuminen ja esimerkiksi trukilla ajo, kun puolestaan FLEX laitteen rakenteen takia istuminen on hankalaa ja ajaminen mahdotonta. Kuvassa 15 on vertaileva taulukko laitteiden soveltuvuudesta erilaisiin tehtäviin, josta ilmenee FLEX laitteen parempi soveltuvuus kaikkeen muuhun kuin istumiseen ja ajamiseen. FLEX laitteen veroton hinta on 4500 €. Laevon maahantuoja on ExoFinland Oy. (ExoFinland 2023b; Orthexo 2024a; Laevo n.d.)

Laevo V2



	Effective	
	Less effective	
	Not possible	
V2	TASKS	FLEX
	Dynamic movements	
	Wide stance lifting	
	Carrying weight against torso	
	Kicking pallets/boxes	
	Walking long distances	
ENVIRONMENT		
	Outdoor	
	Driving vehicle	
	Sitting in chair	
	Confined spaces	
	High temperature	
USER		
	Comfort	
	Women	
	Men	

Laevo FLEX



KUVA 16. Vertailutaulukko Laevo V2 ja Laevo FLEX (Laevo n.d.)

6. Back Protect (KUVA 17)

Back Protect on alle kilon painoinen passiivinen selän-eksoskeleton, joka ei muihin laitteisiin verrattuna tarjoa lainkaan lisävoimaa, vaan opastaa ainoastaan käyttäjänsä parempaan työskentelyasentoon. Laitteen on todettu parantavan ryhtiä ja sitä kautta myös selkäkivut ovat vähentyneet. Laitetta on saatavilla kolmessa koossa ja maahantuoja on ExoFinland Oy. (ExoFinland 2024c)



KUVA 17. Back Protect (ExoFinland 2024c)

3.2.3 Kokovartalo-eksoskeleton

Auxivo OMNISUIT® (KUVA 18)

Tällä hetkellä Suomesta on saatavilla yhtä mallia kokovartalo-eksoskeletonista, jonka luvataan tukevan niskan, hartioiden, käsivarsien, selän ja lantion lihaksia. Kyseessä on sveitsiläinen Auxivo OMNISUIT®, jota markkinoidaan ensimmäisenä passiivisena kokovartalo-eksoskeletonina. Laite on käytännössä yhdistelmä Auxivon DeltaSuit® ja LIFTSUIT® 2.0 eksoskeletoneista. Painoa laitteella on koon mukaan 2,7 kg (S/M) ja 3,0 kg (L/XL). Laitteen veroton hinta on 2990 € ja maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024g; Hartico 2022g)



KUVA 18. Auxivo OMNISUIT® (Hartico 2022g)

3.2.4 Kaularangan-eksoskeletonit

Kaularangan-eksoskeletoneilla viitataan laitteisiin, joilla on tarkoitus tukea pään painon kannattelua ja vähentää niskaan kohdistuvaa rasitusta. Työn toteutuksen aikaan saatavilla olevat mallit ovat:

1. HAPO NECK
2. Spineband
3. Skelex NECK SUPPORT

1. HAPO NECK (KUVA 19 vasenpuoli)

HAPO NECK on ranskalaisen Ergosanté yrityksen passiivinen kaularangan-eksoskeleton. Painoa laitteella on 0,3 kg ja saatavilla on kaksi eri voimakkuus-versiota. Laitetta suositellaan kaikkiin työtehtäviin, joissa katse on toistuvasti ylöspäin. Laitteen veroton hinta on 550 € ja maahantuoja Meditas Oy. (Meditas 2024h; Hapo 2023)



KUVA 19. HAPO NECK ja Spineband (Hapo 2024; Meditas 2024i)

2. Spineband (KUVA 19 oikeapuoli)

Spineband on ruotsalainen passiivinen kaularangan-eksoskeleton, joka vähentää niskaan kohdistuvaa kuormitusta ja auttaa sitä rentoutumaan. Laitte tukee päätä tilanteissa, joissa tarvitsee työskennellä pää staattisessa asennossa. Saatavilla on kaksi kokoa käyttäjän pituuden mukaan. Veroton hinta laitteella on 160 € ja maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024i; Hartico 2022h)

3. Skelex NECK SUPPORT (KUVA 20)

Skelex NECK SUPPORT on hollantilaisen Skelexin suunnittelema passiivinen kaularangan-eksoskeleton, joka tukee päätä työskennellessä kädet koholla. Laite painaa 150 grammaa ja tarjoaa tukea jopa 5 kg. Laitteen paikallaan pysymiseen on tarjolla kolme vaihtoehto, jotka ovat henkselit, lannevyö tai kiinnitys suoraan Skelex 360-XFR yläraajaeksoskeletoniin. Laitteen veroton hinta on 250 € ja maahantuoja on Meditas Oy (Skeleton 2022; Health2Work n.d.)



KUVA 20. Skelex NECK SUPPORT (Health2Work n.d.)

3.2.5 Käden-eksoskeleton

IRONHAND® (KUVA 21)

IRONHAND® on aktiivinen käden-eksoskeleton, jonka on kehittänyt ruotsalainen Bioservo yhteistyössä autovalmistaja General Motorsin kanssa. Laite on käytännössä työhanska, joka antaa käyttäjälleen lisää puristusvoimaa käteen, jossa laitetta pidetään. Tarvittava lisävoima saadaan ladattavista akuista, jotka kulkevat käyttäjän selkään tai vyötärölle asennettuna. Kiinteällä kaukosäätimellä tai puhelimen sovelluksen välityksellä pystyy säätämään laitteen voimakkuuden ja tarkkuuden sormikohtaisesti. Laitteen verotonhinta on noin 6000 € ja maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024j; Bailey 2022)



KUVA 21. IRONHAND® (Bailey 2021)

3.2.6 Kannattelua tukevat-eksoskeletoinit

Auxivo CARRYSUIT® (KUVA 22)

Sveitsiläisen Auxivon valmistama CARRYSUIT® on passiivinen ylävartalo-eksoskeleto, joka on suunniteltu helpottamaan raskaiden kuormien nostamista ja siirtämistä. Laitteen toiminta perustuu kannettavan painon siirtämiseen lonkalle, vähentäen sitä kautta käsien lihaksiin ja selkärankaan kohdistuvaa kuormaa. Laitteessa on kiinnityskoukut molemmilla olkapäillä, johon on saatavilla erilaisia sovittimia ja nostovälineitä erilaisten taakkojen nopeaan kiinnittämiseen. Laite painaa 5,2 kg ja sillä nostettavan maksimikuorman paino on 50 kg. Tarjolla on kahta eri versiota käyttäjän pituuden mukaan. Laitteen veroton hinta on 1700 € ja maahantuoja on Meditas Oy. (Meditas 2024k; Orthexo 2024b)



KUVA 22. Auxivo CARRYSUIT® (Hartico 2022i)

Hilti EXO-T-22 Tool balancer (KUVA 23)

EXO-T-22 on liechtensteinilaisen Hiltin julkaisema aktiivinen ylävartalo-eksoskeleton, jota ei ole vielä Suomessa saatavilla. Kyseessä on raskaiden työkoneiden kannatteluun suunniteltu laite, joka siirtää koneiden painon käsiltä lonkalle. Painoa laitteella on 7,8 kg ja kannateltavan työkoneen maksimipaino on 17 kg. Laite toimii Hiltin 22 voltisella Nuron akulla. Tämänhetkinen veroton hinta Yhdysvalloissa on 1999 \$. Laitteeseen on saatavilla kahta erilaista lisäosaa erilaisten työkoneiden kiinnitystä varten. (Hilti.com n.d.)



KUVA 23. Hilti EXO-T-22 (Hilti.com n.d.)

3.3 Eksoskeletonien tulevaisuus

Eksoskeletonien tulevaisuus näyttää erittäin lupaavalta, kun laitteissa käytettävät materiaalit ja ratkaisut tulevat vielä kehittymään tällä hetkellä saatavilla olevista teknologian uusien löydösten myötä. Tulevaisuudessa voimme odottaa näkemämme kevyempiä, käyttäjäystävällisempiä ja toiminnoiltaan älykkäämpiä eksoskeletoneja, jotka on suunniteltu vastaamaan käyttäjien yksilöllisiin tarpeisiin ja tehtäviin.

Käytettävyyden paranemisen ja eksoskeletonien yleistymisen myötä yhä useampi työntekijä kokee laitteen käytön hyödylliseksi yhä varhaisemmassa vaiheessa. Tämä tulee johtamaan nykyisten työstä johtuvien sairauksien ja vammojen merkittävään vähenemiseen, mikä hyödyttää niin yrityksiä, yhteiskuntaa kuin laitteen käyttäjää. Tulevaisuudessa on mahdollista, että eksoskeletonien käyttö tulee olemaan verrattavissa kypärän käyttöön rakennustyömailla.

4 EXOACTIVE LAITTEEN PILOTOINTI

4.1 Pilotoinnin lähtökohdat

Saksalainen sähkötyökalujen valmistaja Festool julkaisi tammikuussa 2023 tiedotteen loppuvuodesta 2023 julkaistavasta aktiivisesta yläraaja-eksoskeletosta, joka on tuotenimeltään ExoActive. Samaa akkujärjestelmää muiden Festoolin 18 voltin työkalujen kanssa käyttävä laite on ensimmäinen aktiivinen yläraaja-eksoskeletton, kun aiemmin markkinoilla olleet saman alueen eksoskelettonit ovat olleet passiivisia. Laite julkaistiin myyntiin lokakuussa 2023.

Lokakuun lopulla Festool Suomi Oy järjesti heidän helsinkiläisellä jälleenmyyjälleen Malmin Terä Oy:llä asiakastilaisuuden, jossa oli ensimmäisen kerran kokeiltavana ExoActive eksoskeletton. ExoActive vaikutti ensikokeilun perusteella melko raskaalta, mutta käsiin kohdistuva tuki oli selvästi huomattavissa. Sen perusteella laitteella oli nähtävissä todellista potentiaalia tehtäviin, joissa työhön liittyy kädet koholla työskentelyä. Laitteen käytöstä ei ollut siinä vaiheessa juurikaan kokemuksia ja sen perusteella syntyi lähtökohdat opinnäytetyön aiheelle ”Aktiivisen yläraaja-eksoskelettonin soveltuvuus rakennusalalle.”

Yhteistyössä Festool Suomi Oy:n kanssa järjestettiin tammikuussa 2024 laitteen käyttöön perehtyminen ja keskusteltiin testiin tulevan laitteen lainauksesta ja muista käytännönasioista testauksien suhteen. Laitteen kokeilun kestoksi valittiin testaajaa kohden yksi työpäivä, johtuen resurssien ja aikataulun rajallisuudesta. Testaajien tulosten tarkasteluun valittiin työterveyslaitoksen laatima eksoskelettonien tarpeellisuuden arviointityökalu EKS@. Kiinnostavuuden lisäämiseksi testiin osallistuvat henkilöt saivat kiitokseksi Festoolin tuotepaketin, joka sisälsi kylmälaukun, juomapullon ja pipon.

Testaajien hakeminen toteutettiin sosiaalisen median rakentamiseen liittyviin kanaviin lähetyllä ilmoituksella ja sieltä saatiin lähes parikymmentä kiinnostunutta testaajaa. Kiinnostuneiden suuresta määrästä huolimatta varsinaisten testausten järjestäminen osoittautui suhteellisen haastavaksi ja siinä oli nähtävissä tämän-

hetkinen rakennusalan tilanne. Useat kiinnostuneet testaajat ilmoittivat mahdollisia testausajankohtia heiltä kysellessä, että mielenkiintoa eksoskeletonia kohtaan on, mutta tällä hetkellä ei ole vain töitä. Testaukset saatiin joka tapauksessa alkamaan suunnitellun aikataulun mukaisesti helmikuun alussa ja ne päättyivät huhtikuun puolivälissä.

4.2 Laitteen testaukset ja käyttökokemukset

ExoActive laitteesta oli havaittavissa iso ongelma jo laitteen noudon yhteydessä tulevia testauksia varten. ExoActive on pakattu isoa kylmälaukkuun muistuttavaan EPP-muovista valmistettuun 65 cm leveään 35 cm syvään ja 74 cm korkeaan kuljetuslaatikkoon. Laitteen kuljetuspainoksi varusteineen kerrotaan yrityksen verkkosivuilla 13,3 kg, joka on kuitenkin kahden akun ja laturin kanssa todellisuudessa 15,5 kg. Näin ison ja painavan laatikon kuljettaminen on lähtökohtaisesti jo todella hankalaa ja tässä mielessä pelkkä ExoActiven kuljettaminen työkohteisiin saattaisi jäädä useilta tekemättä monessa kohteessa. Asiaa saattaisi tosin kompensoida, jos laitteen käytöstä saatavat hyödyt osoittautuisivat testauksissa todella merkityksellisiksi. (Festool 2024)

Ensimmäisellä testaajalla ExoActive oli käytössä varastotyössä, johon kuuluu paljon kädet koholla työskentelyä. Testaaja oli 160 cm pitkä nainen ja laitteen säädöt olivat hänellä kokotaulukon pienimmästä päästä. EKS@ arviointityökalun ensimmäisen osan pisteiden perusteella eksoskeletonin käytöstä olisi jonkin verran hyötyä. Päivän käytön jälkeen tehtiin EKS@ arviointityökalun toinen osa, jonka tulosten perusteella eksoskeleton soveltuu työtehtävään heikosti. Testaaja koki laitteen käytön keventävän osin käsiin kohdistuvaa raskautusta, mutta itse laitteen raskas paino oli negatiivisilta vaikutuksiltaan suurempi.

Seuraavana testaajana oli 189 cm pitkä mies, jonka työtehtävinä oli katon sähköasennustyöt. Tarpeellisuuden arviointikyselyn perusteella eksoskeletonin käytöstä on selvää hyötyä. Päivän testauksen jälkeen täytetyn käytettävyysselvityksen tuloksena oli jälleen eksoskeletonin soveltuminen työtehtävään heikosti. Testaajan mielestä laitteen tukeva vaikutus oli selvästi havaittavissa kädet koholla työskentelyssä, mutta laitteen painon vaikutus jaksamiseen ja tasapainoon tekivät

laitteesta enemmän haittaa kuin hyötyä aiheuttavan. Lisäksi ExoActive laitteen kompressorin ääni koettiin häiritseväksi ja liian usein toistuvaksi.

Kolmantena testajana oli 183 cm pitkä mies, joka käytti eksoskeletonia saunan paneloinneissa. Tarpeellisuuden arviointikyselyn perusteella eksoskeletonin käytöstä on selvää hyötyä testajan työssä. Tälläkin kertaa käytettävyysskyselyn tuloksena oli päivän käyttökokemuksen perusteella, että eksoskeleton soveltuu työtehtävään heikosti. Testaaja koki laitteen käyttöönoton ja käytön sujuvan helposti ja laitteen eri osien toimivan teknisesti hyvin yhteen, mutta laitteen käytöllä testaja ei havainnut keventävää vaikutusta. Testajan mielestä eksoskeletonin käyttö heikensi osin myös jaksamista työpäivän aikana. Lisäksi laitteen koko koettiin ongelmalliseksi erityisesti pienempiä kohteita ajatellen.

Neljännellä ja viidennellä testajalla oli työtehtävänä hirsiseinän puhdistus isolla kulmahiomakoneella. Työhön liittyi paljon kädet koholla työskentelyä ja tarpeellisuuden arviointikyselyn perusteella eksoskeletonin käytöstä on selvää hyötyä työtehtävän suorittamisessa. Ensimmäisenä laitetta työtehtävään kokeillut 173 cm pitkä mies koki jo lyhyen käytön jälkeen eksoskeletonin liian rajoittavaksi ja raskaaksi suhteessa havaittaviin hyötyihin. Hänelle käytettävyysskyselyn tuloksena oli, että eksoskeleton ei sovellu lainkaan työtehtävään. Toisena samaan työtehtävään kokeili eksoskeletonin käyttöä 189 cm pitkä mies. Hän havaitsi eksoskeletonin käytöllä selvää hyötyä käsiin kohdistuvan rasituksen keventämisessä erityisesti kädet vaakatason yläpuolella työskennellessä. Käsien ollessa alempana laitteesta saatava hyöty jäi hänen kokeilunsa perusteella pienemmäksi. Testaaja koki, että kuulosuojaimien ja kulmahiomakoneesta tulevan voimakkaan äänen takia ExoActive-laitteen kompressorista tuleva ääni ei haitannut työskentelyä, mutta heti äänekkäämmän työn loputtua laite tarvitsi kytkeä taukotiilaan häiritsevän äänen takia. Käytettävyysskyselyn perusteella eksoskeleton soveltui työtehtävään heikosti.

Kuudennella testajalla ExoActive oli omakotitalon korjaustyömaalla kokeilussa. Testajana oli 178 cm pitkä mies, jonka työtehtäviin kuului kattojen levytystä ja muita sekalaisia työtehtäviä kädet koholla. Jo tuotaessa ExoActive työmaalle, hän totesi sen kuljetettavuuden olevan todella merkittävä haaste monia työkoh-

4.3 Pilotoinnin tulokset

Käytettävyykselyllä saatujen tulosten perusteella ExoActive aktiivinen yläraaja-eksoskeleton koettiin soveltuvaksi työtehtäviin heikosti tai ei lainkaan. Taulukoon 1 on koottu käytettävyykselyn tulokset, josta on nähtävissä testaaajien valintojen jakautuminen eri väitteisiin liittyen.

TAULUKKO 1. Käytettävyykskeilun tulokset prosentteina

	Täysin eri mieltä	Eri mieltä	Neutraali	Samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1. Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein.	57 %	43 %	0 %	0 %	0 %
2. Luulen, että tarvitsisin opastusta, jotta osaisin käyttää eksoskeletonia.	29 %	14 %	43 %	14 %	0 %
3. Eksoskeletonia oli mielestäni helppo käyttää.	0 %	14 %	14 %	43 %	29 %
4. Mielestäni eksoskeletonin eri osat eivät toimi teknisesti hyvin yhteen.	0 %	72 %	14 %	14 %	0 %
5. Luulen, että useimmat oppisivat eksoskeletonin käytön hyvin nopeasti.	0 %	14 %	29 %	29 %	29 %
6. Eksoskeleton rajoitti toimintaani tai liikelaajuuksiani.	0 %	14 %	14 %	43 %	29 %
7. Eksoskeleton kevensi työtäni.	14 %	14 %	43 %	29 %	0 %
8. Eksoskeletonin käyttö aiheutti fyysisiä oireita, kuten puutuminen tai kipu.	29 %	29 %	0 %	29 %	14 %
9. Eksoskeleton paransi jaksamistani työpäivän aikana tai sen jälkeen.	29 %	43 %	14 %	14 %	0 %
10. Eksoskeleton aiheutti turvallisuusrisikin, kuten ympäristön havainnoinnin heikentyminen tai takertuminen vaatteisiin tai ympäristöön.	14 %	29 %	14 %	43 %	0 %

Tuloksista näkyy hyvin, että kyseessä oli subjektiivinen tutkimus. Tällöin yksittäisen väitteen kohdalla vastaukset vaihtelevat todella paljon sen mukaan, miten testaaaja on väitteen teoreettisessa mielessä ymmärtänyt ja sen mukaan vastauksen valinnut. Kun tutkimuksessa oli ainoastaan 7 vastaajaa, ei kokonaistulosten osalta saadut arviot ExoActiven soveltuvuudesta ole teoreettisessa mielessä täysin virheettömät.

Kuitenkin laitteen menestymismahdollisuuksien ja soveltuvuuden kannalta tärkeimmässä väitteessä tulokset olivat selvästi yhtenäiset ja tämä on kohta 1. ”Käyttäisin mielelläni tätä eksoskeletonia usein.” 57 % testaaajista vastasi ”täysin eri mieltä” ja 43 % ”Eri mieltä”. Menestyvän eksoskeletonin edellytyksenä on, että laitteen käyttö koetaan jo lyhyessä käytössä miellyttäväksi ja hyödylliseksi erityisesti, kun kyseessä on täysin uusi ennakkoluuloja herättävä laite. ExoActive laitteen käytöstä kerätyt tulokset kertovat suoraan, että tällä versiolla ei ole näitä menestymiseen tarvittavia edellytyksiä.

4.4 Johtopäätökset

Tulosten perusteella vaikuttaisi, että ExoActive laitteen suunnittelussa on menty liian kunnianhimoisesti tavoitteeseen valmistaa ensimmäinen aktiivinen yläraaja-eksoskeleton ja siinä sivussa vertailu jo markkinoilla oleviin passiivisiin malleihin ja niiden ominaisuuksiin on jäänyt tekemättä.

Yläraaja-eksoskeletonien tarkoituksena on keventää laitetta käyttävien henkilöiden yläraajalihaksiin kohdistuvaa kuormaa niin, että laitteesta saatava hyöty on suurempi kuin laitteen käytöstä aiheutuva lisäkuorma muille lihaksille. Passiivisissa yläraaja-eksoskeletoneissa tämä hyöty/painosuhte on selvästi nähtävissä kannattavaksi. Esimerkiksi Hapo Front laitteessa hyöty/painosuhte on 6 kg / 1,3 kg (hyöty 362 %), Hilti EXO-S laitteessa 11 kg / 2,4 kg (hyöty 358 %), Skelex 360-XFR laitteessa 8 kg / 2,3 kg (hyöty 248 %) ja Comau MATE-XT laitteessa 11 kg / 3 kg (hyöty 267 %). Festoolin ExoActive laitteessa vastaava suhde on 10 kg / 7,6 kg (hyöty 32 %) ja tässä näkee suoraan ExoActive laitteen suurimman ongelman. Laitteella on aivan liian paljon painoa suhteessa sen käsille tarjoamaan tukeen.

Hyöty/painosuhteen eron ollessa noin radikaali suhteessa passiivisiin yläraaja-eksoskeletoneihin, on todella hankala nähdä ExoActive laitteen nykyisellä versiolla todellista potentiaalia soveltuvuudessa ja menestymisessä juuri missään työtehtävässä. Laitteen aktiivisuudella saavutettavat hyödyt, kuten yksilöllinen säädettävyys ja nopea sopeutuminen erilaisiin tehtäviin eivät vain riitä kompensoimaan laitteen painosta johtuvia heikkouksia ja se näkyi suoraan myös käytettävyysskyselyn tuloksissa. Kun passiiviset laitteet ovat pääosin hinnaltaan samassa tai edullisempia kuin ExoActive, tulee eksoskeletoneista leviämään laajempaan

käyttöön ainakin tässä vaiheessa vain passiiviset yläraaja-eksoskeletonit. Luvussa 2.2. esiteltyjen tutkimusten perusteella näillä on todellista potentiaalia keventää kädet koholla työskentelyä ja edesauttaa siten työntekijöiden työkykyä.

4.5 Kehittämisehdotukset

Tulevien laiteversioiden kohdalla Festoolin olisi ehdottoman tärkeää kiinnittää huomiota erityisesti kolmeen kehityskohtaan. Nämä kehityskohdat laitteessa ovat:

1. Paino
2. Kuljetettavuus
3. Ääni

1. Paino

Tulevien versioiden paino on saatava todella merkittävästi kevyemmäksi ja mikäli se ei onnistu aktiivisessa eksoskeletonissa niin olisiko mahdollista siirtää nykyisen version teknisesti toimivat ratkaisut passiiviseen yläraaja-eksoskeletoniin. Laitteen painolla on suora vaikutus laitteen käytettävyyteen ja laitteesta koettaviin hyötyihin. Samalla kevyempi laite on helpompi kuljettaa.

2. Kuljetettavuus

Nykyisen version toinen merkittävä ongelma on laitteen kuljetuslaatikon koko ja paino. 74 cm korkea ja 15,5 kg painava kokonaisuus vaatii jo laitetta kuljettavalta henkilöltä tarpeeksi voimaa ja riittävän tilavan auton. Menestyvän eksoskeletonin edellytyksenä on, että sen kuljetus paikasta toiseen sujuu helposti ja laite kulkee muiden työvarusteiden mukana vaivattomasti. Tähän on ehdottoman tärkeää pyrkiä seuraavien laitteiden kehityksessä.

3. Ääni

Laitteen kompressorista tuleva ääni on yllättävän voimakas ja erityisesti koh-teissa, joissa ei ole muuta taustamelua ja työskennellään ilman tarvetta kuulo-suojaimille, äänen kokee jo pienen hetken jälkeen rasittavaksi. Tällaiset pienet asiat vaikuttavat erityisesti siihen, haluaako eksoskeletonia käyttää päivittäin. Passiivisissa laitteissa käytöstä ei aiheudu käytännössä lainkaan ääntä ja tämä-kin seikka saattaa vaikuttaa suoraan siihen, että valitaan käyttöön passiivinen yläraaja-eksoskeleton. Tämä on syytä huomioida tulevien versioiden kehityk-sessä.

Festoolin ohella kehittämisehdotus lähtee työterveyslaitokselle liittyen heidän laatimaansa eksoskeletonien tarpeellisuuden arviointityökalu EKS@. Kehittämisehdotus liittyy siinä olevaan käytettävyysskyselyyn ja tarkemmin sen pisteytykseen ja tulkintaan, jossa on syytä kehittää asteikkoa.

Käytettävyysskyselyssä vastataan 10 väitteeseen eksoskeletonin käytöstä, jonka jälkeen parittomien pisteiden summasta vähennetään 5 pistettä ja parillisten kysymysten summa vähennetään 25 pisteestä. Tästä jäljelle jäävät parittomien ja parillisten kysymysten pisteet summataan yhteen ja kerrotaan 2,5, josta saatavaa tulosta verrataan taulukkoon ja saadaan arvio eksoskeletonin soveltuvuudesta käyttöön.

Kehittämistarve on huomattavissa tilanteessa, jossa parittomien ja parillisten kysymysten yhteenlasketut pisteet ovat 27 on tuloksena $27 \cdot 2,5 = 67,5$. (Eksoskeleton soveltuu työtehtävään heikosti)

Jos puolestaan parittomien ja parillisten kysymysten yhteenlasketut pisteet ovat 28 on tuloksena $28 \cdot 2,5 = 70$. (Eksoskeleton soveltuu työtehtävään hyvin)

Yhden pisteen erolla ei pitäisi olla noin radikaali vaikutus arvioon eksoskeletonin sopivuudesta. Erityisesti kun taulukossa on välissä vielä arvio ”Eksoskeleton soveltuu työtehtävään kohtalaisesti”, joka nykyisellä pisteytyksellä ei ole lainkaan mahdollinen arvioksi eksoskeletonin sopivuudelle.

Sähköpostikeskustelussa EKS@ laatineen tutkimuksen johtavan tutkijan Satu Mänttärin kanssa, hän kommentoi kehitysehdotusta selvästi tarpeellisiksi ja yhdeksi huomioitavaksi asiaksi tulevissa tutkimushankkeissa eksoskeletoneihin liittyen. (Mänttari 2024)

5 POHDINTA

ExoActive laitteen esittelyssä yrityksen sivuilla mainostetaan: "ExoActive on kevyt ja miellyttävä kantaa kuin reppua, ja sen voi säätää nopeasti omalle vartalolle sopivaksi." (Festool 2024) Väittäminen ei ole väärä, jos verrataan laitetta muihin aktiivisiin yläraaja-eksoskeletoneihin. Näitä ei ole markkinoilla muita ja todellisuudessa tilanne on se, että ExoActive kilpailee samoista asiakkaista passiivisten yläraaja-eksoskeletonien kanssa, joiden paino on mallin mukaan 1,3–3 kg. Näihin verrattuna Festoolin ExoActive (paino 7,6 kg) on painava ja sen tarjoama käsiin kohdistuva hyöty suhteessa laitteen painoon todella pieni.

On kuitenkin hyvä huomioida, että ExoActive on ensimmäinen Festoolin julkaisema aktiivinen yläraaja-eksoskeleton ja sitä kautta laitteen kehitys on vasta melko varhaisessa vaiheessa. Kun tulevien laitteiden kehityksessä saadaan yhdistettyä nykyisen version teknisesti toimivat ratkaisut huomattavasti kevyemmässä ja helpommin kuljetettavassa kokonaisuudessa, voidaan sillä alkaa todella kilpailemaan passiivisten eksoskeletonien kanssa samoista käyttäjistä.

Opinnäytetyössä saavutettu tulos ei ole ExoActive laitteen markkinoinnin ja menestyspotentiaalilta kannalta kovinkaan positiivinen. Tästä huolimatta tutkimus onnistui hyvin ja saadut tulokset tarjoavat todella merkittävää palautetta laitteen kehittämisen suhteen. Tulokset tullaan välittämään yhteistyökumppani Festool Suomi Oy:n toimesta eteenpäin laitteen valmistuksesta ja kehittämisestä vastaaville tahoille Festoolilla.

Eksoskeletonit tulevat seuraavien vuosien aikana yleistymään varmasti, kun tietoisuus tarjolla olevista vaihtoehdoista ja niiden hyödyistä kasvaa. Erityisesti rakennusosalalla olisi syytä vielä isommassa määrin edesauttaa eksoskeletonien laajempaa käyttöönottoa erilaisiin tehtäviin ja sitä kautta vähentää merkittävässä määrin työstä johtuvia sairaspotensiaaleja ja ennenaikaisia sairaseläkkeitä.

LÄHTEET

Arvinen, M. 2020. Tukijousitus keventää käsien kuormaa. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2023. <https://www.sahkomaailma.fi/tukijousitus-keventaa-kasien-kuormaa/>

Bailey, S. 2021. A robotic 'Ironhand' could protect factory workers from injuries. CNN. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://edition.cnn.com/2021/05/12/world/ironhand-exoskeleton-glove-spc-intl/index.html>

Chang, A. 2015. Exosuits: Past, Present, and Future. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024. <https://www.uab.edu/inquiro/issues/past-issues/volume-9/exosuits-past-present-and-future>

Cornwall, W. 2015. Feature: Can we build an 'Iron Man' suit that gives soldiers a robotic boost?. Science.com. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2024. <https://www.science.org/content/article/feature-can-we-build-iron-man-suit-gives-soldiers-robotic-boost>

Cyberdyne. 2014. HAL received the world-first certificates of an international safety standard as wearable robots for workers and caregivers. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024. https://www.cyberdyne.jp/english/company/PressReleases_detail.html?id=1441

Eeronheimo R. 2021. Skelex - työergonomian parantaminen ja tuotannon tehostaminen. Rakennustekniikan insinöörin tutkinto-ohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 24.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202105057097>

Ergosante. 2024. HAPO FRONT: innovation for the upper limbs. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://ergosante.fr/en/exosquelette-leger-hapo-ms/>

Exofinland. 2023a. Comau MATE-XT exoskeleton. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.exofinland.fi/valikoima/comau-mate-xt/>

Exofinland. 2023b. Laevo V2.5. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.exofinland.fi/valikoima/laevo-v2/>

Exofinland. 2023c. Back Protect. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.exofinland.fi/valikoima/back-protect/>

Festool. 2024. Eksoskeleton ExoActive EXO 18 HPC 4,0 I-Plus. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.festool.fi/tuotteet/eksoskeleton/exoactive-eksoskeleton/577339---exo-18-hpc-4,0-i-plus>

Hartico. 2022a. Exoskeleton HAPO MS. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-hapo-ms/>

Hartico. 2022b. Exoskeleton MATE XT Biomechanical Performance. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-mate-xt/>

Hartico. 2022c. Active Exoskeleton Japet.W+ for Back. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/active-exoskeleton-japet-w-for-back/>

Hartico. 2022d. Exoskeleton LiftSuit Auxivo. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-liftsuit/>

Hartico. 2022e. Exoskeleton HAPO V2 for back. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-hapo-ph-2/>

Hartico. 2022f. Exoskeleton Chairless Chair 2.0. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-chairless-chair-2-0/>

Hartico. 2022g. Exoskeleton Auxivo OmniSuit. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-auxivo-omnisuit/>

Hartico. 2022h. Exoskeleton SpineBand Active for neck. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-spineband-active-for-neck/>

Hartico. 2022i. Eksoskelett CarrySuit. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://hartico.ee/en/product/exoskeleton-carrysuit/>

Hapo. 2023. Exosquelette HAPO NECK. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.hapo.eu/fr/exosquelettes/5-83-exosquelette-hapo-neck.html>

Health2Work. n.d. Necksupport - Skelex 360. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.health2work.be/necksupport-skelex360-neksteun>

Hilti.com. n.d. EXO-T-22 TOOL BALANCER. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. https://www.hilti.com/c/CLS_EXOSKELETON_HUMAN_AUGMENTATION/CLS_UPPERBODY_EXOSKELETON/CLS_SUB_TOOL_BALANCER/r18562918

Hilti.fi. n.d.a. HILTIN EXOSKELETON ON TÄÄLLÄ!. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.hilti.fi/content/hilti/E1/FI/fi/business/news/hilti-blog/exoskeleton.html>

Hilti.fi. n.d.b. EXO-S HARTIOIDEN EKSOSKELETON. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. https://www.hilti.fi/c/CLS_EXOSKELETON_HUMAN_AUGMENTATION/CLS_UPPERBODY_EXOSKELETON/CLS_SUB_UPPERBODY_EXOSKELETON/r14012433

Hoggett, R. 2010. 1965-71 – G.E. HARDIMAN I EXOSKELETON – RALPH MOSHER (AMERICAN). CYBERNETICZOO.COM. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024. <https://cyberneticzoo.com/man-amplifiers/1966-69-g-e-hardiman-i-ralph-mosher-american/>

Kelley, L, C. 1919. Pedomotor. U.S. Patent 1 308 675. 1.7.1919. Viitattu 25.3.2024. <https://patents.google.com/patent/US1308675A/en>

Karttunen, J. & Tuure, V-M. 2023. ULKOISET TUKIRANGAT ALKUTUOTANNON TÖISSÄ. TTS Työtehoseura. Tutkimushanke. Viitattu 24.3.2024. https://www.tts.fi/wp-content/uploads/2023/10/Ulkoiset_tukirangat_alkutuotannon_toissa.pdf

Klemettilä, P. 2023. Tukiranka auttaa raskaissa töissä. Lapin Kansa. 15.4.2023, Uutiset, 10.

Kulmala, J-P., Pekkola, T., Vehmaskoski, K., Tanttu, A. & Korniloff, K. 2023. Yläraaja-eksoskeletonien vaikutusten vertailu kädet koholla työskentelyssä. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. Tutkimushanke. Viitattu 24.3.2024. <https://www.tsr.fi/hankkeet-ja-tutkimustieto/ylaraaja-eksoskeletonien-vaikutusten-vertailu-kadet-koholla-tyoskentelyssa/>

Laevo. n.d. Comparing Laevo V2 and Laevo FLEX. Viitattu 28.3.2024. <https://www.laevo-exoskeletons.com/differences>

Luotola J. 2019. Puettava tukiranka vahvistaa työntekijää. Insinööri-lehti. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://insinööri-lehti.fi/artikkelit/puettava-tukiranka-vahvistaa-tyontekijaa/>

Meditas Oy. 2020. Puutarhayrittäjä Jouko Heinonen Espoosta: ”Skelex on investointi yksinyrittäjän työhyvinvointiin ja elämänlaatuun”. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.epressi.com/tiedotteet/terveys/puutarhayrittaja-jouko-heinonen-espoosta-skelex-on-investointi-yksinyrittajan-tyohyvinvointiin-ja-elamanlaatuun.html>

Meditas Oy. 2024a. SKELEX 360-XFR. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.meditas.fi/skelex>

Meditas Oy. 2024b. AUXIVO DELTASUIT®- YLÄKÄSI EXOSKELETON. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.meditas.fi/deltasuit>

Meditas Oy. 2024c. JAPET MEDICAL -MOTORISOITU TUKIRANKA. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.meditas.fi/japet>

Meditas Oy. 2024d. Auxivo LiftSuit® 2.0. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.meditas.fi/auxivo-liftsuit-2-0>

Meditas Oy. 2024e. HAPO. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.meditas.fi/hapo>

Meditas Oy. 2024f. NOONEE CHAIRLESS CHAIR – TUOLITON TUOLI. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.meditas.fi/noonee-chairless-chair>

Meditas Oy. 2024g. AUXIVO OMNISUIT® – PASSIIVINEN KOKOVARTALO-EXOSKELETON. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.meditas.fi/auxivo-omnisuit>

Meditas Oy. 2024h. HAPO NECK NISKATUKI ON PASSIIVINEN EXOSKELETON. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.meditas.fi/hapo-neck>

Meditas Oy. 2024i. SPINEBAND- TERVEEMMÄN NISKAN PUOLESTA. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.meditas.fi/spineband>

Meditas Oy. 2024j. IRONHAND®. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.meditas.fi/ironhand>

Meditas Oy. 2024k. AUXIVO CARRYSUIT®. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.meditas.fi/auxivo-carrysuit>

Mänttari, S., Halonen, J., Karkulehto, J., Rauttola, A-P., Säynäjäkangas, P. & Oksa, J. 2021. Kädet koholla työskentelyn keventäminen ulkoisen tukirangan avulla. Työterveyslaitos. Tutkimusraportti. Viitattu 24.3.2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:9789522619853>

Mänttari, S. Työterveyslaitos. 2024. Opinnäytetyö yläraajaeksoskeletoneihin liittyen. Sähköpostiviesti 8.4.2024.

Oksa, J., Rauttola, A-P., Karkulehto, J., Säynäjäkangas, P., Karppinen, J., Halonen, J. & Mänttari, S. 2022. Nostotyön keventäminen ulkoisen tukirangan avulla. Työterveyslaitos. Tutkimusraportti. Viitattu 24.3.2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-055-3>

Orthexo. 2024a. Laevo Flex exoskeleton: portable chest and back support. Viitattu 28.3.2024. <https://orthexo.de/en/exoskeletons/industrial-exoskeletons/laevo/>

Orthexo. 2024b. Auxivo CarrySuit: Exoskeleton for back relief with heavy loads. Viitattu 28.3.2024. <https://orthexo.de/en/exoskeletons/industrial-exoskeletons/auxivo-carry/>

Peters, M. & Wischniewski, S. 2019. EKSOSKELETONIEN KÄYTÖN VAIKUTUS TYÖSUOJELUUN. Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto. Taustasiakirja. Viitattu 25.3.2024. https://osha.europa.eu/sites/default/files/Exoskeletons%26OSH_FI.pdf

Rakennusteollisuus RT ry. 2021. Ekso keventämään kuormitushuippuja. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. https://issuu.com/rakennusteollisuus-rtty/docs/jokka_0221_digi/s/13731111

Rakentajan toimitus. 2022. 4,5 kilon apuvoima tekee ihmeitä. Rakentaja. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://rakentaja.pro/artikkelit/45-kilon-apuvoima-tee-ihmeit%C3%A4/>

Salmelainen, H. Asiakaspalvelu Hilti. 2024. EXO/S avustaja. Sähköpostiviesti 8.4.2024.

Sankai, Y. 2007. HAL: Hybrid Assistive Limb based on Cybernics. Cybernics. Konferenssi esitys. Viitattu 25.3.2024. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14743-2_3

Silvast, J. n.d. Kaikkea se ihminen keksii!. SV24. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://www.sv24.fi/uutiset/kaikkea-se-ihminen-keksii-6.139.78033.5b21454dcc>

Skelex. 2024a. Skelex 360-XFR. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024.
<https://www.skelex.com/products>

Skelex. 2024b. The Skelex Story. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024.
<https://www.skelex.com/about>

Skeleton.fi. 2022. Skelex – Niskatuki. Pdf-esite. Viitattu 28.3.2024.
<https://www.skeleton.fi/wp-content/uploads/2021/10/neck-support-brochure-Final-version.pdf>

Tuki- ja liikuntaelinliitto Tule ry. 2023. Tuki- ja liikuntaelinongelmat heikentävät työkykyä ja tulevat kalliiksi. Infograafi. Viitattu 18.4.2024. https://suomen-tule.fi/?sdm_process_download=1&download_id=24885

Yagn, N. 1890. Apparatus for Facilitating Walking, Running, and Jumping. U.S. Patent 420 179. 28.1.1890. Viitattu 25.3.2024. <https://patents.google.com/patent/US420179A/en>

LIITTEET

Liite 1. Eksoskeletonien tarpeellisuuden arviointityökalu EKS@

Hyödynkö ulkoisen tukirangan käytöstä työssäni?

EKS@ - Eksoskeletonin hyötyjen arviointityökalu kädet hartiatason yläpuolella tehtävässä työssä.

Mikä on eksoskeleton?

Eksoskeletonilla tarkoitetaan ulkoista tukirankaa tai kevennintä. Ne ovat päälle puettavia laitteita, joilla kevennetään tuki- ja liikuntaelimistöön kohdistuvaa raskautta. Eksoskeletonien tarkoitus on pienentää työn aiheuttamaa kuormitusta, etenkin raskaampia kuormituspiikkejä sekä helpottaa hankalissa asennoissa työskentelyä. Ne eivät lisää käyttäjänsä voimaa, eikä niiden avulla ole tarkoitus tehdä raskaampia työtehtäviä tai enemmän työtä kuin normaalisti. Ne eivät poista ergonomiaan, työtapoihin, työvälineisiin, työympäristöön tai työn suunnitteluun liittyviä haasteita. Arviointityökalu on rajattu passiivisiin eksoskeletoneihin, jotka eivät sisällä moottoria tai muita aktiivisia osia.

Arviointityökalun yleiskuvaus

Arviointityökalu koostuu kahdesta osasta:

- 1) eksoskeletonin tarpeellisuuden arviointiin tarkoitettu kysely
- 2) käytettävyysskysely eksoskeletonin koekäytön jälkeen.

Arviointityökalu on tarkoitettu työpaikoille päätöksenteon tueksi tilanteisiin, joissa harkitaan voisiko eksoskeleton olla hyödyllinen apuväline työssä. Tarpeellisuuden arviointikyselyllä pyritään arvioimaan milloin ja minkä tyyppisissä kädet koholla tehtävissä työtehtävissä eksoskeletonin käyttö olisi perusteltua ja suositeltavaa. Arviointityökalu pyrkii antamaan tukea myös eksoskeletonin koekäytön arviointiin ja päätöksentekoon koekäytön jälkeen suoritettavalla käytettävyysskyselyllä. Arviointityökalua ei ole tarkoitettu työn kuormittavuuden arvioinnin välineeksi, vaan ainoastaan eksoskeletonin tarpeellisuuden arvioimiseen.

Arviointityökalu on tarkoitettu tasapuolisesti kaikille työpaikan toimijoille, kuten työterveyshuollolle, työsuojelulle, yrittäjille tai vaikka yksittäisille työntekijöille. Arviointityökalun käytölle ei ole varsinaisia osaamisvaatimuksia, mutta paremmat valmiudet mittarin käyttöön ovat terveydenhuoltoalan ammattilaisilla (esim. fysioterapeutti) tai muilla ergonomiaan ja työn arvioimiseen perehtyneillä ammattiryhmillä.

Mahdolliset haittavaikutukset eksoskeletonin käytöstä

Eksoskeletonit on suunniteltu tukemaan työskenteleviä kehon osia siirtämällä kuormitusta muualle kehoon. Eksoskeletonien käyttö saattaa siten pitkällä aikavälillä lisätä näiden kehon osien (esimerkiksi alaselkä) kuormitusta. Eksoskeletonien käyttö saattaa lisätä tapaturma-alttiutta: ne saattavat vaikuttaa tasapainon säätelyyn ja liikeratojen laajuuteen, hankaloittaa ympäristön havainnointia tai takertua vaatteisiin tai ympäristöön aiheuttaen turvallisuusriskin. Yläraajaeksoskeleton ei myöskään välttämättä sovellu ahtaissa tiloissa tai hankalissa asennoissa, kuten selkä kumarassa, työskentelyyn. Eksoskeleton saattaa aiheuttaa pientä painetta rintakehään ja muihin kehon osiin, joihin se on kosketuksissa, joten sen käyttöä kannattaa harkita esimerkiksi hengitystä hankaloittavien sairauksien tai pintaverenkierron häiriöiden yhteydessä. Mahdolliset haittavaikutukset ovat riippuvaisia eksoskeletonin suunnittelusta ja rakenteesta, joten riskejä aina pohdittava tapauskohtaisesti.

Arviointityökalu pohjautuu Työterveyslaitoksen tutkimuksen (<https://www.ttl.fi/tutkimushanke/kadet-koholla-tyoskentelyn-keventaminen-eksoskeletonin-avulla-2020-2021/>) antamaan tietoon sekä alan kirjallisuuteen ja suosituksiin.

1. Tarpeellisuuden arviointikysely

Tarpeellisuuden arviointikysely suoritetaan erikseen juuri siitä työtehtävästä, johon eksoskeletonia on tarkoitus käyttää. Jos arviointityökalu antaa vastausten perusteella suosituksen eksoskeletonin hyödyntämisestä, kannattaa ennen eksoskeletonin hankintaa tehdä eksoskeletonin koekäyttökäyttöjakso. Koekäytön kokemuksia voidaan sen jälkeen arvioida käytettävyysselvityksellä.

Arviointi perustuu työtehtävän fyysisesti kuormittavimpien työvaiheiden tunnistamiseen ja niiden perusteella tehtäviin päätelmiin eksoskeletonin hyödyllisyydestä. Valitse arviointiin työtehtävän kuormittavimmat työvaiheet (1–3). Pyydä tarvittaessa työvaiheiden valinnassa apua muilta kyseistä työtehtävää tekeviltä henkilöiltä. Kustakin valitusta työvaiheesta tehdään erillinen arvio. Suosituksena on, että arvioinnin suorittajan käy havainnoimassa jokaista valittua työvaihetta noin puolen tunnin ajan. Jos havainnointia ei tehdä, on arvioinnin tekijän tunnettava työ riittävän hyvin tai hänen on haastateltava muutamaa työn hyvin tuntevaa työntekijää. Arvioinnin voi tehdä yhden työntekijän perusteella, mutta luotettavamman arvion saa, kun työtehtävää arvioidaan 2–3 työntekijän perusteella. Näin voidaan arvioida itse työtehtävää ja saadaan minimoitua yksilöllisten työtapojen vaikutus arvioon. Jos yhdenkin arvion perusteella vaikuttaa siltä, että eksoskeletonista voisi olla hyötyä, kannattaa sen kokeilua harkita.

Tarpeellisuuden arviointikysely koostuu kuudesta kysymyksestä. Kaksi ensimmäistä kysymystä koskevat niskan ja selän asentoja ja ne arvioidaan kumpikin erikseen. Yläraajojen osalta lasketaan yhteen neljän kysymyksen pisteiden summa, jonka perusteella saadaan arvio eksoskeletonin tarpeellisuudesta.

2. Käytettävyysselvitys

Koekäytön jälkeen siihen osallistuneet työntekijät täyttävät käytettävyysselvityksen, jonka avulla voidaan arvioida itse laitteen toimivuutta, sen soveltuvuutta työn keventämiseen valitussa työtehtävässä sekä sen käytöstä mahdollisesti aiheutuvia oireita.

Käytettävyysselvitys koostuu kymmenestä väittämästä, joiden paikkaansa pitävyyttä työntekijä arvioi asteikolla 1–5. Kyselyn täyttämisen jälkeen vastaukset pisteytetään ja kokonaispisteiden perusteella arviointitulokosta saadaan arvio, kuinka hyvin eksoskeleton soveltui kyseiseen työtehtävään. Useamman kyselyn keskiarvon perusteella saa kattavimman kuvan eksoskeletonin käytettävyydestä.

1. TARPEELLISUUDEN ARVIOINTIKYSELY

Ohje kyselyn täyttämiseen

Täytä alla oleva lomake seurattuasi työvaihetta, haastateltuasi työtä tekeviä henkilöitä tai oman arvioisi perusteella. **Niska ja selkä** arvioidaan ainoastaan yhden kysymyksen perusteella, kumpikin erikseen. Tulos tulkitaan ainoastaan valitun vaihtoehdon perusteella.

Yläraajojen osalta neljän kysymyksen pisteet lasketaan yhteen ja tulkinta eksoskeletonin tarpeellisuudesta katsotaan yhteissumman osoittamalta kohdalta.

ARVIOINTIKOHDE	Ei riskiä	Riski kohonnut	Riski selkeästi kohonnut
kunnossa	osittain kunnossa	ei kunnossa	
Niska ja selkä			
Onko niska taipuneena tai kiertyneenä työtä tehdessä?	a) Ei (< 20 astetta taipunut)	b) Kyllä ajoittain	c) Kyllä, jatkuvasti (yli puolet työtehtävänä kestosta) / niska on taakse taipunut
Millainen on selän asento työtä tehdessä?	a) Lähes keskiasento (< 20 astetta taipunut tai kiertynyt)	b) Jonkin verran taipunut tai kiertynyt (20–60 astetta)	c) Voimakkaasti kiertynyt tai taipunut (> 60 astetta)
Yläraajat			
Millainen on käsien asento työtä tehdessä?	Vyötärön korkeudella tai alempana	Noin rinnan korkeudella	Hartiatasolla tai ylempänä
Pisteet	0	6	12
Kuinka usein käsien liike toistuu työvaiheen aikana?	Harvoin (jotakin liikkeitä ajoittain; noin 3 krt/min tai harvemmin)?	Toistuvasti (liikkeitä säännöllisesti, jonkun verran taukoja; noin 8 krt/min)?	Erittäin usein (liikkeet ovat lähes jatkuvia; noin 12 krt/min tai useammin)?
Pisteet	1	2	3
Millainen on raskain käsin käsiteltävä taakka työvaiheen aikana?	Alle 2 kg	2–10 kg	Yli 10 kg
Pisteet	1	2	3
Kuinka paljon työvaihetta tehdään työpäivän aikana?	Alle tunti/työpäivä	1–3 tuntia/työpäivä	Yli 3 tuntia/työpäivä
Pisteet	1	2	3

Arviointikyselyn pisteytys ja tulkinta

Niska ja selkä arvioidaan ainoastaan yhden kysymyksen perusteella, kumpikin erikseen. Tulokset tulkitaan ainoastaan valitun vaihtoehdon perusteella.

Niska

Vaihtoehdot

a

Niskan asennon osalta asiat ovat kunnossa.

b

Niska on ajoittain taipuneena tai kiertyneenä. Tarkastele voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää niskan taipuneita tai kiertyneitä asentoja.

c

Työskentely niska pitkään hankalaan asentoon taipuneena lisää kroonisten vaivojen ja vammojen riskiä. Tarkastele voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää niskan taipuneita tai kiertyneitä asentoja.

Selkä

Vaihtoehdot

a

Selän asennon osalta asiat ovat kunnossa.

b

Selän asento työtä tehdessä on taipunut, yläraajaeksooskeletonin käytöstä ei välttämättä ole hyötyä. Selän eksooskeletonin käytöstä sen sijaan saattaisi olla hyötyä, mutta tarkastele ensin voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää selän taipuneita tai kiertyneitä asentoja.

c

Selän asento työtä tehdessä on voimakkaasti taipunut, yläraajaeksooskeletonin käytöstä ei todennäköisesti ole hyötyä. Työskentely selkä pitkään hankalaan asentoon taipuneena lisää kroonisten vaivojen ja vammojen riskiä, etenkin raskaampia taakkoja käsitellessä. Selän eksooskeletonin käytöstä saattaisi olla hyötyä, mutta tarkastele ensin voisitko työntekotavoilla tai työn järjestelyllisillä seikoilla vähentää selän taipuneita tai kiertyneitä asentoja.

Yläraajojen osalta neljän kysymyksen pisteet lasketaan yhteen ja tulkinta eksooskeletonin tarpeellisuudesta katsotaan yhteissumman osoittamalta kohdalta.

Yläraajat

Summa

0–9 p

10–15 p

16–21 p

Tulkinta

Eksooskeletonin käytöstä ei välttämättä ole hyötyä.

Eksooskeletonin käytöstä on jonkin verran hyötyä.

Eksooskeletonin käytöstä on selvää hyötyä.

2. KÄYTETTÄVYYSKYSELY

Arvioi seuraavat väittämät kokeilun perusteella ympyröimällä mielipidettäsi kuvaava vaihtoehto.

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

Kyselyn pisteytys 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:	Arvio
Pistemäärä	
> 80,3	Eksokeletoon soveltuu työtehtävään erinomaisesti
68,1–80,3	Eksokeletoon soveltuu työtehtävään hyvin
68	Eksokeletoon soveltuu työtehtävään kohtalaisesti
51–67,9	Eksokeletoon soveltuu työtehtävään heikosti
< 51	Eksokeletoon ei sovellu työtehtävään lainkaan

Liite 2. Taulukko Suomessa saatavilla olevista yläraaja-eksoskeletoneista

	Festool ExoActive	Hilti EXO-S	Skelex 360-XFR	Auxivo DeltaSuit ®	Hapo MS	Comau MATE-XT
Tyyppi	Aktiivinen	Passiivinen	Passiivinen	Passiivinen	Passiivinen	Passiivinen
Tukivoima kättä kohti	0–5 kg	0,5–5,5 kg	0.5–4 kg	5,2 Nm tai 6,6 Nm	2 kg tai 3 kg	0,5–5,5 kg
Laitteen paino	7,8 kg	2,4 kg	2,3 kg	noin 2 kg	1,3 kg	3 kg
Kuljetus	Kuljetuslaatikossa varusteineen. Paino 13.3 kg	Erikseen ostet- tava kuljetus- laukku	Ei mainintaa	Ei mainintaa	Ei mainintaa	Ei mainintaa
Kokotaulukko	Yksi koko kaikille	2 versiota	3 eri kokoa	2 versiota	1 koko 2 tehoa	2 versiota
Hinta (veroton)	2800 €	1471 €	4500 €	2290 €	2100 €	5000 €
Maahantuoja	Festool Suomi Oy	Hilti (Suomi) Oy	Meditas Oy	Meditas Oy	Meditas Oy	ExoFinland Oy
Lähteet	Festool 2024	Hilti.fi n.d.b.; Salmelainen 2024	Skelex 2024a; Meditas 2024a; Luotola 2019	Meditas 2024b	Ergosante 2024; Hartico 2022a	Exofinland 2023a; Kulmala ym. 2023, 5; Hartico 2022b