

Tommi Nuotioma

Nostoyksikön tuen konseptisuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

19.5.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tommi Nuotioma Nostoyksikön tuen konseptisuunnittelu 31 sivua 19.5.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Tuoteryhmäpäällikkö Ari Luukkonen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tehdä tukiratkaisun konseptisuunnitelmia Enerpacin synkronisen nostojärjestelmän nostoyksiköille. Työ tehtiin Tecalemit Industrial Oy:lle, joka on Enerpac-hydraulityökalujen Suomen maahantuoja, ja kolmantena osapuolena työssä oli VR Group Oy.</p> <p>VR Group Oy tarvitsi Oulun uuden junavarikon pikahuoltohalliin uuden nostolaitteiston, jolla kyettäisiin nostamaan veturin tai vaunun kori teliltä. Tecalemit Industrial Oy tarjosi tarkoitukseen Enerpacin synkronista nostojärjestelmää. Pikahuoltohalliin, kiskojen ympärille, rakennettu 1,4 m syvä huoltokuilu aiheutti nostolaitteiston toteuttamisen kannalta ongelman, joka oli huoltokuilun reunan ja veturin tai vaunun nostopisteiden väliin jäävä välimatka. Kyseisen välimatkan vuoksi synkronisen nostojärjestelmän nostoyksiköille piti kehitellä tukiratkaisu.</p> <p>Työssä tehtiin erilaisia konseptisuunnitelmia nostoyksiköiden tukemiseksi, joita lopuksi vertailtiin määriteltyjen kriteerien avulla keskenään, käyttäen hyväksi konseptinvalintatyökalua, jonka tulosten perusteella valittiin paras ratkaisu.</p>	
Avainsanat	synkroninen nostojärjestelmä, teleskooppisylinteri, konseptisuunnittelu

Author Title	Tommi Nuotioma Concept Design of Support Solution for Lifting Unit
Number of Pages Date	31 pages 19 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructors	Heikki Paavilainen, Principal Lecturer Ari Luukkonen, Product Group Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to create concept designs of support solutions for the lifting units of a synchronous lifting system. The thesis was commissioned by Tecalemit Industrial Oy which imports Enerpac hydraulic tools to Finland. The third party involved in this thesis was VR Group Oy.</p> <p>VR Group Oy required new lifting equipment for the express service of their new train depot in Oulu with which the body of a locomotive or a car could be lifted from the bogey. Tecalemit Industrial Oy offered Enerpac's synchronous lifting system for the purpose. A maintenance gap, which had been built in the express service hall around the rails and was 1.4 m deep, caused a problem for the implementation of the lifting system. The problem was the distance between the edge of the maintenance gap and the lifting point of a locomotive or a car and therefore, a support solution was needed for the lifting units of the synchronous lifting system.</p> <p>Different kinds of concept designs for the support of lifting units were made in this thesis and the concept designs were finally compared with each other by the specified criteria using a concept selection tool. The best option was then selected based on the results produced using the tool.</p>	
Keywords	synchronous lifting system, telescopic cylinder, concept design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Kaluston nostoalue uudella varikolla	1
1.2	Yritysten esittely	3
1.2.1	Tecalemit Industial Oy	3
1.2.2	Enerpac	4
1.2.3	VR Group Oy	4
2	Taustatietoja	5
2.1	Hydraulijärjestelmät	5
2.1.1	Hydraulisylinterit	5
2.1.2	Teleskooppisylinteri	7
2.2	Synkroninen nostojärjestelmä	9
2.2.1	Enerpacin synkroninen nostojärjestelmä	10
2.2.2	Nostoyksikkö	12
2.3	Konseptisuunnittelun periaatteet	12
3	Nostoyksikön tuen konseptisuunnittelu	13
3.1	Konseptisuunnittelun lähtökohdat	13
3.1.1	Vierailu Oulun varikolla	13
3.1.2	Nostoyksikön mitat muuttuneiden tietojen pohjalta	14
3.2	Konseptisuunnitelmat	16
3.2.1	Vaihtoehto 1: Tuki kiskosta	16
3.2.2	Vaihtoehto 2: Tukisylinterit huoltokuilun pohjalta nostoyksikköön	18
3.2.3	Vaihtoehto 3: Tukisylinterit nostoyksiköstä huoltokuilun pohjalle	20
3.2.4	Vaihtoehto 4: Tukijalat	22
3.3	Konseptisuunnitelmien vertailu	24
3.3.1	Konseptinvalintatyökaluesimerkki	24
3.3.2	Tukiratkaisujen vertailu konseptinvalintatyökalulla	26
4	Tulokset	28
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

Lyhenteet

PLC	Programmable Logic Controller eli ohjelmoitava logiikka. Pieni tietokone tosiaikaisen automaatioprosessin ohjaukseen.
HPU	Hydraulic Power Unit eli hydrauliyksikkö. Sisältää hydraulijärjestelmän päävoimansiirtokomponentit.

1 Johdanto

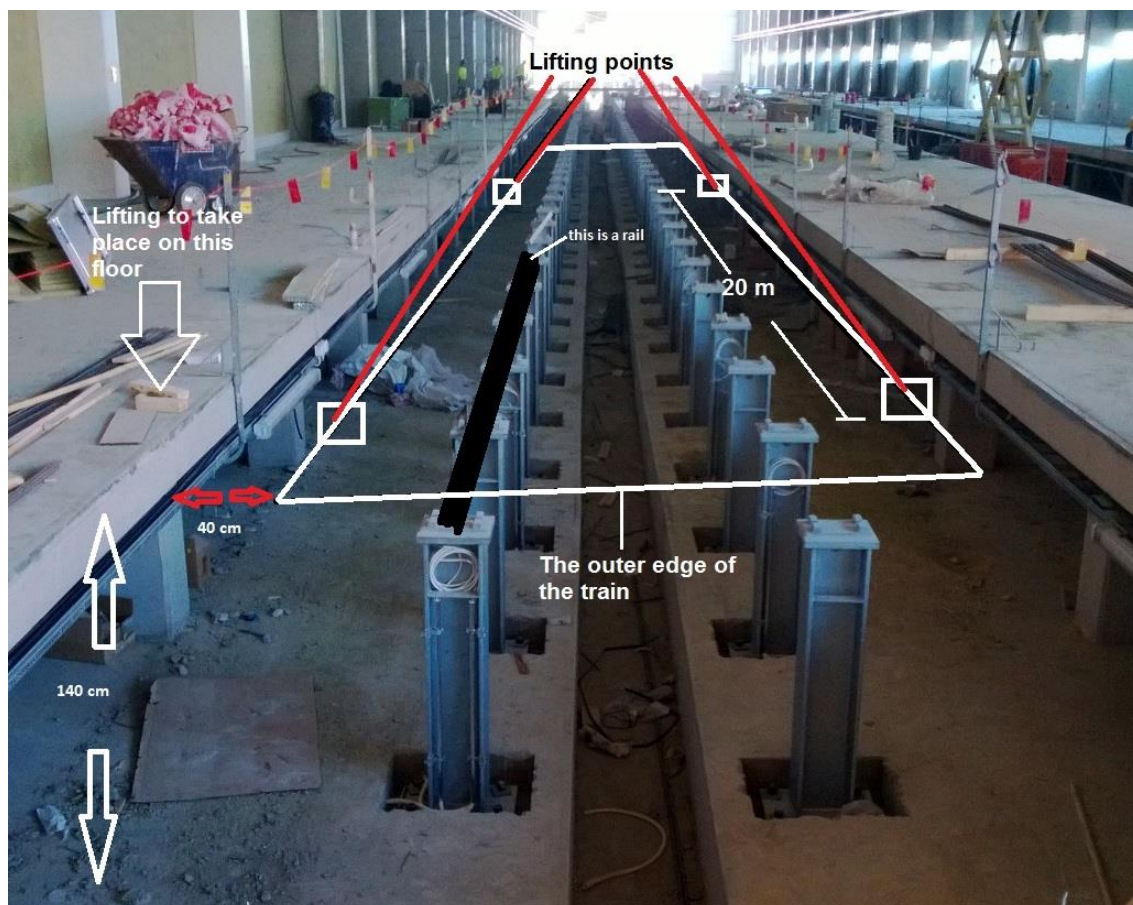
VR Group Oy rakennutti vuosien 2012–2013 aikana Ouluun uuden junavarikon, jolla voidaan korjata, huoltaa sekä talvisin sulattaa yrityksen junakalustoa. Yritys tarvitsi varikolle pikahuoltoyksikköön nostojärjestelmän, jolla voitaisiin nostaa maksimissaan 100 tonnia (100 000 kg) painavat veturin tai vaunun korit teliltä huoltotöitä varten. Pika-huollolla tässä yhteydessä tarkoitetaan alle viiden tunnin työtä, esimerkiksi akselin vaihtoa, jolloin veturi voidaan tuoda huoltoon sen saapuessa Ouluun ja samaa veturia voidaan käyttää paluumatkaan.

Tecalemit Industrial Oy:n hydraulikkatuotteiden tuoteryhmäpäällikkö Ari Luukkonen oli tarjonnut VR:lle Tecalemit Industrialin maahantuoman Enerpacin korkeapainehydraulista (700 bar) synkronista nostojärjestelmää, joka valmistettaisiin mittatilaustyönä VR:n tarpeiden mukaan. Nostojärjestelmällä veturin tai vaunun kori saataisiin vakaasti ja hallitusti nostettua teliltä automaatiota hyödyntäen.

1.1 Kaluston nostoalue uudella varikolla

Oulun uuden varikon pikahuoltohalliin rakennettiin kuvassa 1 näkyvä huoltokuilu, joka helpottaa veturin tai vaunun alle pääsyä huoltotoimenpiteitä varten. Huoltokuilu aiheuttaa kuitenkin veturin tai vaunun korin noston kannalta ongelman, koska veturin nostotapit ovat lattian reunasta 40 cm:n päässä (merkitty kuvassa 1 punaisilla nuolilla). Nostotappien pidennys ei ole VR:lle sopiva ratkaisu, koska nykyiset tapit ovat veturin valmistajien suunnittelemaa ja valmistamia ja mikäli tappi sattuisi pettämään, olisi vastuu silloin valmistajalla. Mikäli VR hankkisi synkronista nostojärjestelmää varten uudet, pidemmät tapit, siirtyisi vastuu/riski tapin pettämisestä VR:lle.

Kuvaan 1 on myös merkitty seuraavat tiedot: Vasemmalla puolella merkittynä valkoisilla nuolilla lattian ja huoltokuilun pohjan välinen välimatka, joka on 1,4 m. Iso valkoinen suorakulmio kuvastaa veturin reunaa ja siihen merkityt pienet valkoiset neliöt veturin nostopisteitä, joita on kaksi kummallakin puolen. Saman puoleisten nostopisteiden välimatkaksi on kuvaan merkitty 20 m, mutta välimatka vaihtelee veturin tai vaunun mallista riippuen. Musta viiva vasemman puoleisten palkkien päällä kuvastaa kiskon paikkaa, kisko luonnollisesti tulisi myös oikeanpuoleisten palkkien päälle.



Kuva 1. Lattian reunan ja nostopisteen väliin jäävä välimatka

Nostojärjestelmältä vaadittava ominaisuus oli, että sen tuli olla liikuteltavissa, sillä vetureille ja vaunuille tehdään samalla paikalla myös muita huoltotoimenpiteitä ja työtila tulee saada niitä varten esteettömäksi. Myös vetureiden ja vaunujen nostopisteiden mallikohtaiset erot edellyttävät liikuteltavaa nostojärjestelmää. Alkutietojen mukaan nostotarve eli korkeus, kuinka korkealle kalusto pitäisi saada nostettua, oli 1–1,5 m.

VR:n vetureissa ja vaunuissa korin nosto tapahtuu neljästä pisteestä. Veturiin tai vauvuun kiinnitetään kuvan 2 kaltaisia nostotappeja ja tapeista nostetaan sopivaa satulaa käyttäen. VR:n kaluston nostoon käytetään muutamia eri profiilin tappeja, joita varten tulee teleskooppisylinterin nostokoukussa olla vaihdettava satula. Nostotapit ovat 645–680 mm:n korkeudessa kiskon tasosta, riippuen pyörien kulumasta, joten nostoyksikön nostokoukun satulan tulee alkuilanteessa olla alle 640 mm:n korkeudessa kiskoon nähden, jotta se saataisiin työnnettyä nostotapin alle.



Kuva 2. Nostotappi

1.2 Yritysten esittely

Tämä insinööritoiminta tehtiin Tecalemit Industrial Oy:lle, ja muita osapuolia olivat synkronisen nostojärjestelmän valmistaja Enerpac sekä asiakas VR Group Oy.

1.2.1 Tecalemit Industrial Oy

Tecalemit Industrial Oy on teknisen alan maahantuontiin ja tukkuliiketoimintaan keskittynyt yritys. Sen juuret ovat Ranskassa, jossa perustettiin 1920-luvulla Tecalemit-niminen yhtiö. Suomessa toiminta aloitettiin vuonna 1938, ja vuonna 2009 Oy Tecalemit Ab -nimeä käyttäneen yrityksen viisi osastoa yhtiöitettiin, jolloin syntyi Tecalemit Industrial Oy.

Indutrade-konserniin kuuluva Tecalemit Industrial Oy maahantuo ja myy tuotteita sekä palveluita eri teollisuudenaloille. Toimintapiiriin kuuluvat kuljetuskaluston ja muiden kone- ja laitevalmistajien hydraulikka- ja pneumatiikkarakentaminen sekä voiteluhuolto.

Tuotevalikoimaan yrityksellä kuuluu hydrauliiikan, pneumatiikan ja voitelulaitteiden sekä työympäristölaitteiden kansainvälisesti tunnettuja merkkejä, kuten esimerkiksi Enerpac-hydrauliikkatuotteet, Ermeto-leikkuurengasliittimet ja Tema-hydrauliikka- sekä paineil-maliittimet. [1.]

Vuoden 2014 alussa yritys fuusioitui sisaryrityksensä Tecalemit Environment Oy:n kanssa, ja fuusion jälkeisen uuden yrityksen nimi on Teca Oy.

1.2.2 Enerpac

Enerpac on yhdysvaltalaisen Actuant Corporationin vuonna 1959 perustama osasto. Enerpacin pääasiallinen toimiala on korkeapainehydrauliikan työkalut ja järjestelmät, joita se valmistaa useassa kohteessa ympäri maailman ja myy maailmanlaajuisesti jälleenmyyntiverkostojensa kautta. Yhtiö myös valmistaa mittatilaustyönä asiakkaan tarpeiden mukaisia ratkaisuja, kuten esimerkiksi synkronisia nostojärjestelmiä. [2.]

1.2.3 VR Group Oy

VR Group Oy eli VR-Yhtymä Oy on Suomen valtion kokonaan omistama logistiikka-konserni, joka perustettiin vuonna 1995 jatkamaan Valtionrautateiden toimintaa. VR Group koostuu kolmesta liiketoiminnasta, jotka toimivat asiakasryhmien ympärillä. Lii-ketoimintoja ovat VR, joka huolehtii henkilöliikenteestä, VR Transpoint, joka harjoittaa tavaraliikennettä sekä VR Track, joka on erikoistunut infrarakentamiseen. [3.]

2 Taustatietoja

2.1 Hydraulijärjestelmät

Hydraulijärjestelmä siirtää mekaanisesti tuotetun energian hydrauliseksi tehoksi, joka tarkoittaa mekaanisen energian siirtymistä hydrauliseksi paineeksi ja tilavuusvirraksi. Useimmiten mekaanisen energian tuottamiseen käytetään joko sähkö- tai polttomoottoria. Hydraulinen teho siirretään toimilaitteille, kuten esimerkiksi sylinterille, putkea tai letkua pitkin, ja toimilaite muuttaa hydraulisen tehon takaisin mekaaniseksi energiaksi.

Hydraulijärjestelmien etuja ovat:

- hyvä teho-paino-suhde
- voimien, momentin ja nopeuden säädön helppous
- suuret voimat ja momentit
- pyörivän ja lineaarisen liikkeen helppo toteutettavuus
- sähköinen ohjattavuus
- komponentit standardoituja.

Haittapuolia puolestaan ovat:

- jatkuva huolto vuotojen minimoimiseksi
- kaikki hydraulijärjestelmät vuotavat ainakin hiukan
- heikko hyötysuhde
- tehohäviöt pitkillä matkoilla
- järjestelmän puhtausvaatimukset. [6, s. 1; 7 s. 170–171.]

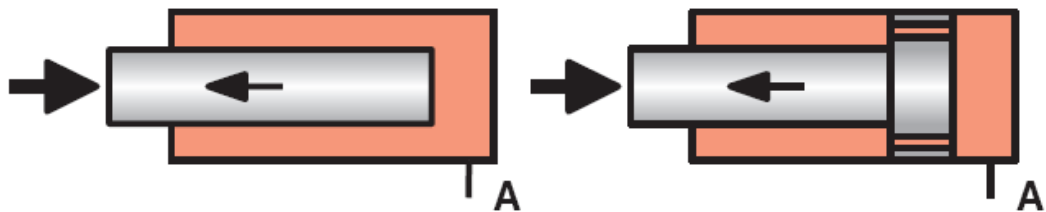
2.1.1 Hydraulisyliinterit

Hydraulisyliinteri on hydrauliiikan yleisin toimilaite, ja sillä muutetaan hydraulinen teho (paine ja tilavuusvirta) mekaaniseksi energiaksi. Sylinterin tuottama teho on mekaanista, edestakaista lineaarista liikettä. Hydraulisyliinterit voidaan jakaa toimintansa mukaan kahteen perusluokkaan sekä erikoissyliintereihin:

- yksitoimiset sylinterit
- kaksitoimiset sylinterit
- erikoissylinterit

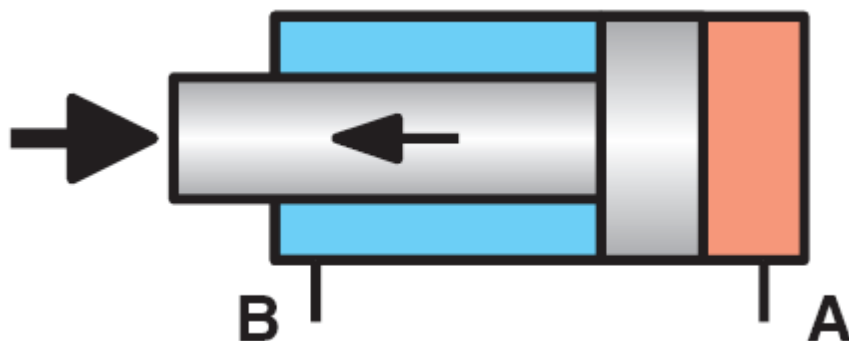
Synkronisessa nostojärjestelmässä käytettävä teleskooppisylinteri kuuluu erikoissylinterien joukkoon.

Yksitoimiset sylinterit (kuva 3) tuottavat liikettä ja voimaa vain yhteen suuntaan eli sylinterin työliike voi olla työntävää tai vetävää. Paluuliike tapahtuu joko ulkoisen voiman, esimerkiksi painovoiman, tai jousen avulla.



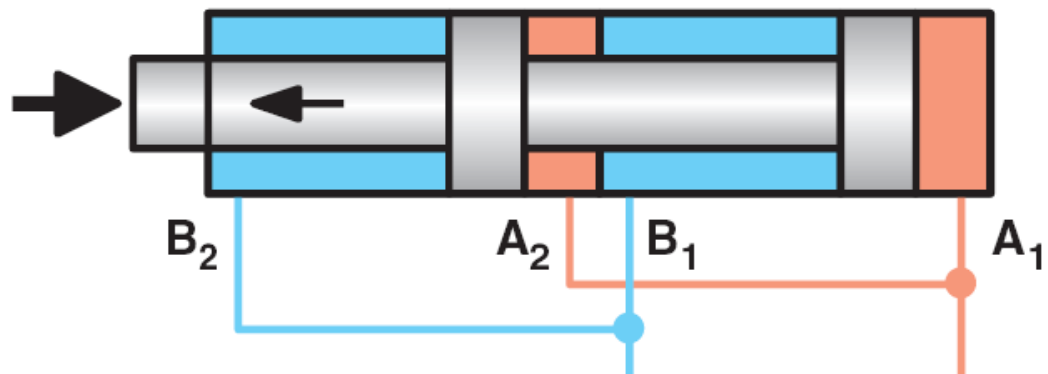
Kuva 3. Yksitoimisia sylintereitä [6, s. 44]

Kaksitoimiset sylinterit (kuva 4) tuottavat liikettä ja voimaa molempiin suuntiin, jolloin työliike voi olla kaksisuuntainen eli työntävä ja vetävä.



Kuva 4. Kaksitoiminen sylinteri [6, s. 45]

Erikoissylintereitä ovat esimerkiksi teleskooppisylinterit, tandemsylinterit (kuva 5), differentiaalisylinterit sekä uppomäntäsylinterit. Edellä mainitut erikoissylinterityypit voidaan luokitella myös yksi- ja/tai kaksitoimisiin sylintereihin, esimerkiksi teleskooppisylintereitä on sekä yksi- että kaksitoimisia. [7, s. 255; 8, s. 70.]

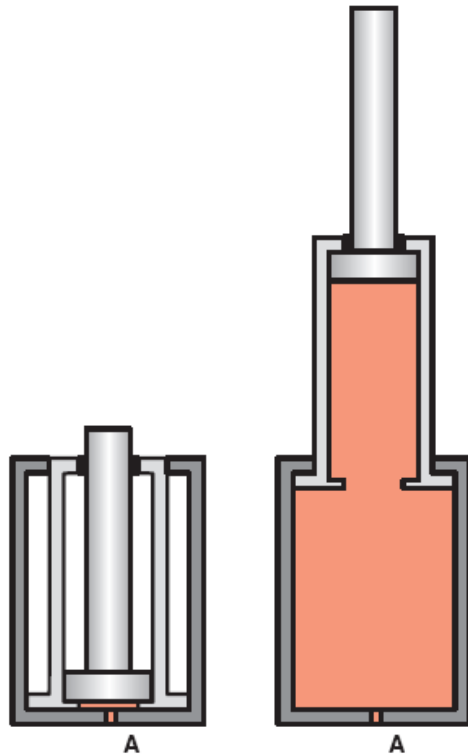


Kuva 5. Tandemsylinteri [6, s. 45]

2.1.2 Teleskooppisylinteri

Teleskooppisylinteri (kuva 6) rakentuu useasta toistensa sisään työntyvästä, halkaisijaltaan toinen toistaan pienemmästä sylinteriputkesta, ikään kuin kaukoputki.

Rakenteesta riippuen sylinteriputkien liike voi olla samanaikaista tai eriaikaista ja erinopeuksista. Useimmiten kuitenkin teleskooppisylinterin pidentyminen tapahtuu isoimmasta pienimpään eli isoin sylinteriputki, jonka sisällä pienemmät sylinteriputket ovat, työntyy ensimmäisenä ulos ja tekee iskunsa loppuun asti. Vasta sen jälkeen seuraa vaksi suurin alkaa työntyä ja tekee iskunsa loppuun asti. Sama jatkuu, kunnes pieninkin sylinteriputki on tehnyt iskunsa loppuun asti eli on täysin pidentynyt. Toiseen suuntaan eli teleskooppisylinterin takaisinvetäytyessä, pienin sylinteriputki vetäytyy ensimmäisenä sisään asti, minkä jälkeen toiseksi pienin ja niin edelleen, kunnes kaikki vaiheet ovat vetäytyneet ja teleskooppisylinteri on alkutilassaan.



Kuva 6. Yksitoiminen teleskooppisylinteri [6, s. 46]

Uloimman sylinteriputken eli halkaisijaltaan suurimman sylinteriputken sisällä olevia sylinteriputkia kutsutaan vaiheiksi. Esimerkiksi kuvan 6 yksitoiminen teleskooppisylinteri on 2-vaiheinen ja kuvan 7 maansiirtovaunun teleskooppisylinteri on 4-vaiheinen. Vaiheita teleskooppisylinterissä voi käytännössä enimmillään olla kuusi, koska sitä suurempi määrä vaiheita aiheuttaa vakausongelmia.

Teleskooppisylinterien suurin hyöty tulee niiden pitkästä iskunpituudesta suhteessa kompaktiin alkutilaan, joka on 20–40 % sylinterin maksimipituudesta, kuten kuvasta 6 voidaan havaita. Tyypillisiä käyttökohteita teleskooppisylintereille ovat maansiirtoajoneuvojen tai -vaunujen kaatolaitteet, kuten kuvassa 7. [6, s. 46; 9.]



Kuva 7. Maansiirtovaunun teleskooppisylinteri [9]

2.2 Synkroninen nostojärjestelmä

Raskaiden, suurikokoisten tai monimuotoisten kuormien tarkan nostamisen, laskemisen, työntämisen, vetämisen tai asettelun kannalta on tärkeää, että jokaisen nostopisteen liike on hallittua ja samanaikaista painon jakautumisesta huolimatta. Synkronisella nostojärjestelmällä pystytään vähentämään kuorman epätasaisesta jakautumisesta tai muutoksesta aiheutuvaa taipumista, kiertymistä tai kallistumista. Tähän päästään käyttämällä PLC-ohjainta eli ohjelmoitavaa logiikkaohjainta, joka säätelee sylinterien liikettä järjestelmään asennettujen usean anturin palautteiden mukaan. PLC-ohjain valvoo

kunkin nostopisteen iskua ja tarvittaessa säätelee öljyvirtausta kuhunkin nostopisteeseen, jolloin kuormitus kussakin nostopisteessä pysyy koko ajan tarkasti hallinnassa.

Tyypillisiä käyttökohteita synkroniselle nostojärjestelmälle ovat seuraavat:

- Siltojen nosto, uudelleenasemoiminen ja/tai huoltaminen.
- Raskaiden rakenteiden nostaminen, laskeminen ja punnitseminen.
- Tilapäisten teräsrakenteiden tukien poisto ja kuorman siirto.
- Raskaat tehdaslaitosten asennustyöt.
- Vaiheittainen sillanrakennus ja tunnelipalojen siirto tunkeilla.
- Paalujen testaus.
- Perustusten tuenta. [4, s. 224–225; 5, s. 2–3.]

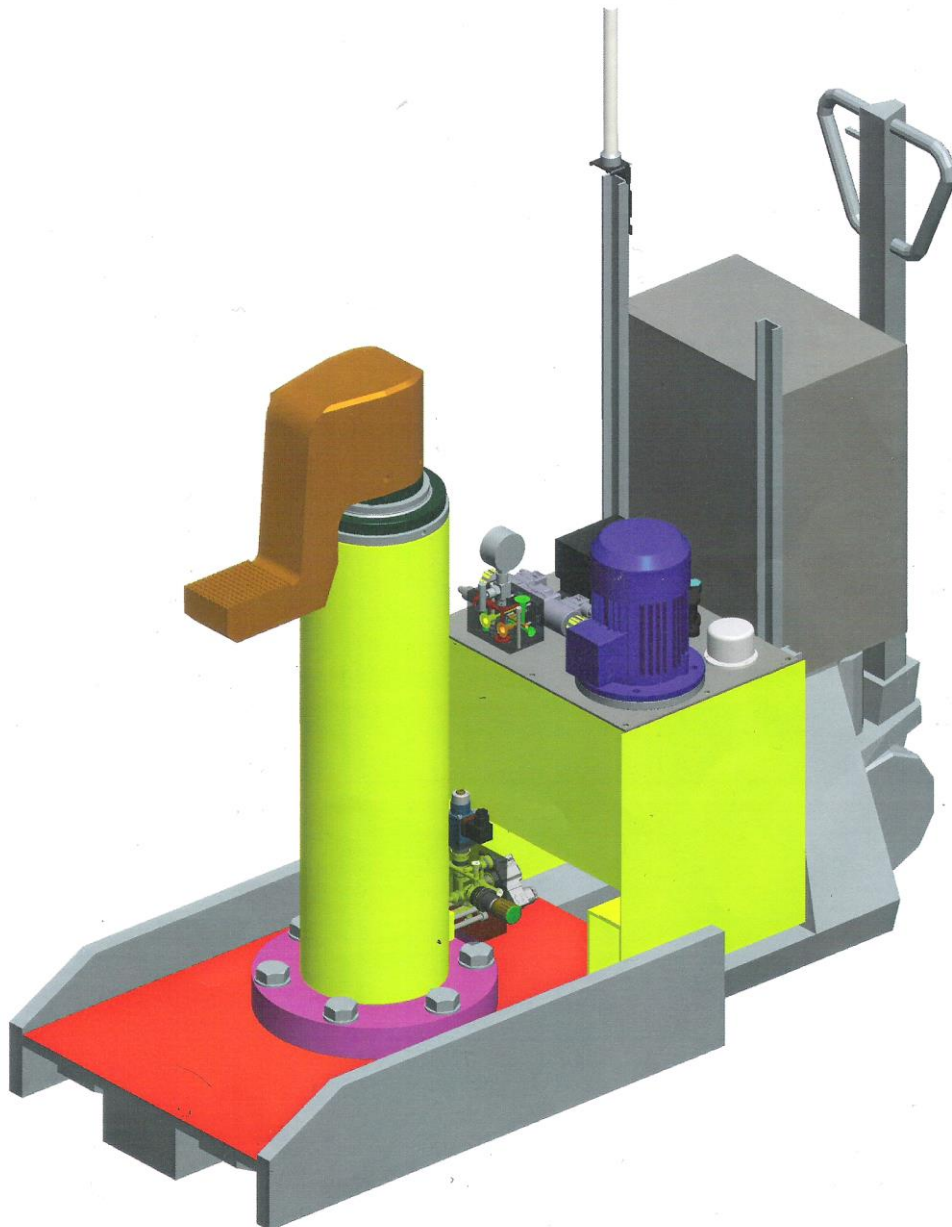
2.2.1 Enerpacin synkroninen nostojärjestelmä

Enerpacin synkronisella nostojärjestelmällä kuorma pystytään nostamaan 1 mm:n tarkkuudella koko nostovälillä, mikä tarkoittaa, että noston aikana korkeimman ja matalimman nostosylinterin välinen korkeusero on enintään 1 mm. Nostotarkkuus saavutetaan PLC-ohjauksen ansiosta.

Synkronista nostojärjestelmää käytetään junien korin nostoon huoltotöitä varten muun muassa Espanjassa, jossa nostojärjestelmä koostuu kuvan 8 kaltaisista nostoyksiköistä, jotka painavat noin 500–600 kg per yksikkö. Kyseinen nostojärjestelmä perustuu Enerpacin EVO-sarjan synkroniseen nostojärjestelmään, mutta on valmistettu mittailaustyönä sikäläisen asiakkaan tarpeiden mukaan. Myös VR Group Oy:lle tarjottu nostojärjestelmä suunniteltaisiin ja valmistettaisiin VR:n tarpeiden mukaan.

Espanjassa käytössä olevalla nostojärjestelmällä nosto tapahtuu 20 nostopisteestä, joihin nostoyksiköt työnnetään pumppukärryillä. Nostoyksiköitä hallitaan langattomasti yhden hallintapaneelin kautta, josta voidaan säädellä mm. nosto- tai laskunopeutta tarpeen mukaan. Enerpacin YouTube-sivulta löytyy junannostojärjestelmää hyvin havainnollistava video. [10.]

Koska VR:n tapauksessa nosto tapahtuisi neljästä pisteestä ja kuorma painaisi 100 tonnia, olisi yhdelle teleskooppisylinterille kohdistuva kuorma 25 tonnia. Nostokapasiteetiltaan 25 tonnia nostava teleskooppisylinteri ei kuitenkaan riitä, sillä nostokapasiteettiin on suositeltavaa jättää turvavaraa, joten teleskooppisylinterien tulee olla nostokapasiteetiltaan vähintään 30 tonnia.



Kuva 8. Enerpacin nostoyksikkö

2.2.2 Nostoyksikkö

Yhteen nostoyksikköön kuuluvat osat ovat:

- kehys eli lavarakenne, jonka päälle muut osat tulevat
- teleskooppisylinteri
- hydraulipumppu
- öljysäiliö
- sähkömoottori
- liittimet, suodattimet, painemittarit, venttiilit ja muut pienemmät osat
- ohjauspaneeli
- muut elektroniikat.

Nostoyksikköä voidaan hallinnoida sen omasta ohjauspaneelistä tai etäältä erillisestä ohjauspaneelistä, jolla voidaan hallita myös useampaa nostoyksikköä samanaikaisesti.

2.3 Konseptisuunnittelun periaatteet

Konseptisuunnitelmalla tarkoitetaan kokoelmaa ideoita tai ajatuksia, joilla jokin ongelma voidaan ratkaista sekä keinoja, jotka palvelevat kyseistä ongelmanratkaisua. Konseptisuunnittelun lopputuotteita voivat olla mm. konseptisuunnitelma, kilpailija-analyysi, vuokaaviot, hierarkiat sekä konseptin testaukseen liittyvä dokumentaatio, mutta konseptisuunnittelu ei sisällä projektin varsinaista lopputuotetta. [12, s. 1.]

Tässä insinööriyössä konseptisuunnitelmien kriteereiksi asetettiin, että niiden tuli olla teknisesti toteutettavissa sekä käytännöllisesti järkeviä ratkaisuideoita. Jokaisesta konseptisuunnitelmasta piirrettiin myös havainnollistava hahmotelma paperille.

3 Nostoyksikön tuen konseptisuunnittelu

3.1 Konseptisuunnittelun lähtökohdat

3.1.1 Vierailu Oulun varikolla

Lokakuussa 2013 vierailimme Tecalemit Industrial Oy:n Ari Luukkosen ja Enerpacin edustajan kanssa VR:n Oulun varikkotyömaalla paikanpäällä katsomassa junavarikkoa ja sijaintia, johon nostojärjestelmä sijoitettaisiin (kuva 9).

Vierailun aikana ilmeni, että muutama oleellinen mitta olikin eri kuin alkuperäisissä tiedoissamme. Ongelmallisin muutos oli nostotarpeen muuttuminen, mikä alkuperäisissä tiedoissamme oli 1–1,5 m, mutta uuden tiedon mukaan olikin 3 m. Näin ylös nostettaessa teleskooppisylinteriin kohdistuvat mm. sivuttaisvoimat sekä huojunta ovat huomattavasti suurempia kuin alkuperäisissä mitoissa ja teleskooppisylinteri vaatisi huomattavasti isommat tuet, jolloin nostoyksikön paino nousisi. Vain yksi VR:n veturimalleista tarvitsee korin 3 m:iin nostamista teliltä rakenteensa vuoksi, mutta koska nostojärjestelmän tulisi kyetä nostamaan kaikkia VR:n veturi- ja vaunumalleja, piti nostotarve muuttua 3 m:iin. Muilla kalustomalleilla nostotarve olisi 1,3 m.



Kuva 9. Havainnekuva Oulun junavarikosta [11]

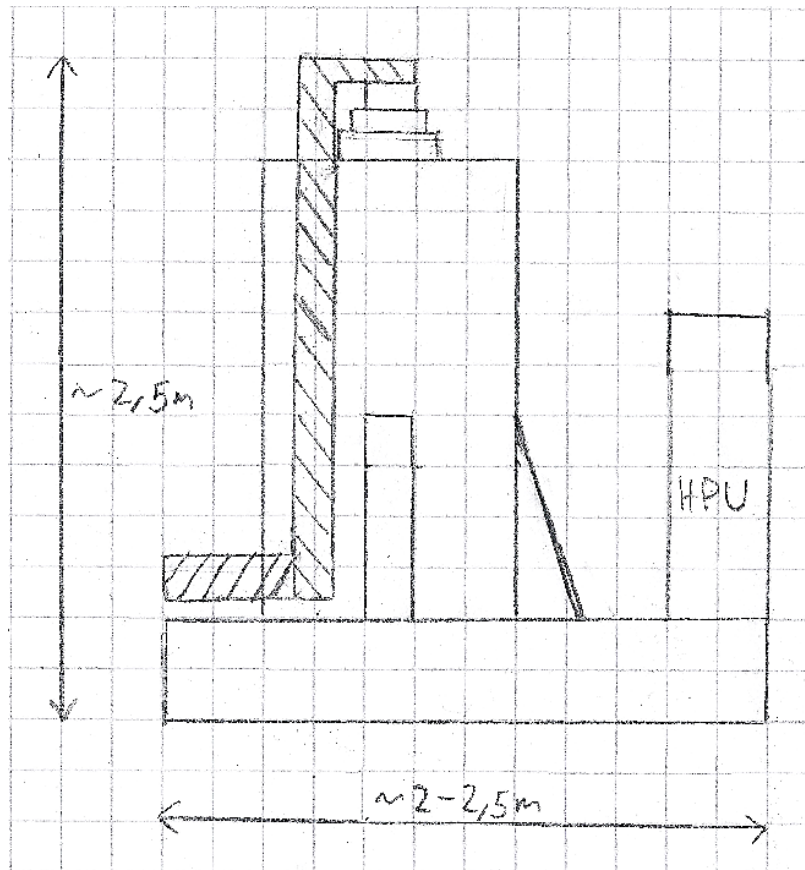
Toinen muuttunut arvo oli etäisyys lattian reunalta nostopisteeseen. Joissain veturimalleissa etäisyys lattian reunalta nostopisteeseen on 60 cm ja sisempänä veturin ulkoreunaan nähden, jolloin nostokoukun tulee ulottua sylinteristä kauemmaksi, joka aiheuttaa lisää sivuttaisvoimia.

3.1.2 Nostoyksikön mitat muuttuneiden tietojen pohjalta

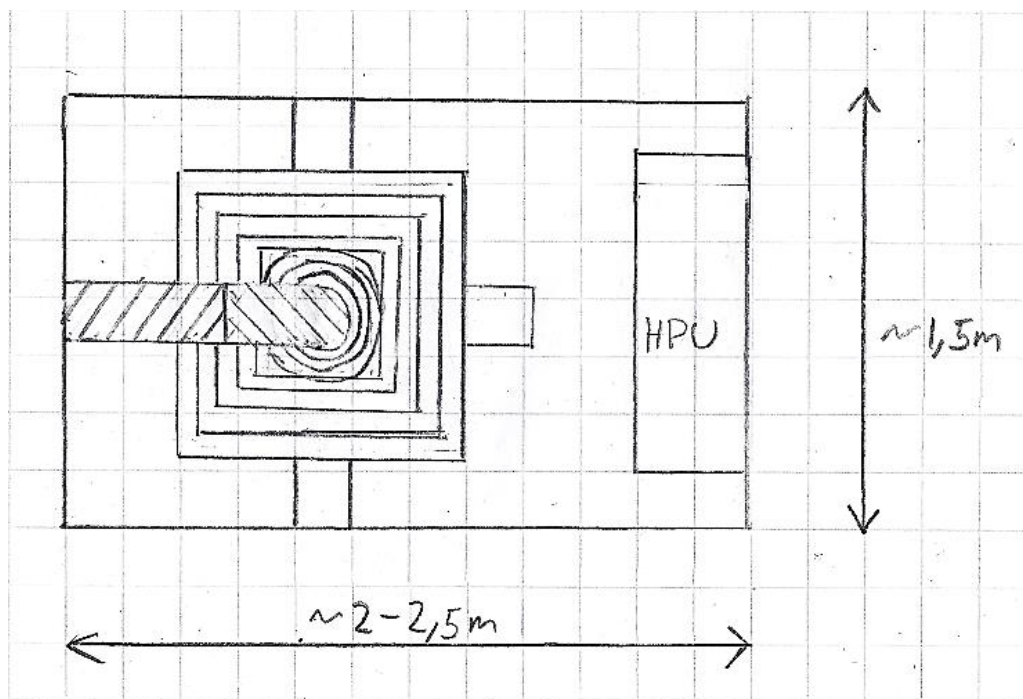
Huomioitavaa seuraavissa painoissa ja mitoissa on se, että kaikki laskelmat perustuvat aiempiin synkronisen nostoyksikön piirustuksiin, jotka on skaalattu isommiksi, jotta saadaan suuntaa-antavat mittasuhteet. Enerpacin insinöörit eivät ole laskeneet tarkempia arvoja, ja todelliset arvot voivat poiketa merkittävästikin näistä arvoista. Arvioissa ei myöskään ole otettu huomioon teleskooppisylinterissä 3 m:iin nostettaessa muodostuvia sivuttaisvoimia. Mitat perustuvat Enerpacin edustajalta sähköpostitse saatuihin tietoihin.

Yksittäisen nostoyksikön mittalaskelmassa on otettu huomioon vain painon ja ulkomittojen kannalta merkittävimmät osat eli nostoyksikön kehys, teleskooppisylinteri tukirakenteineen sekä pumppuyksikkö. Muut osat eivät vaikuta niihin merkittävästi.

Yksi nostoyksikkö painaisi arviolta 6 tonnia, johtuen teleskooppisylinterin tarvitsemasta tukirakenteesta, joka muodostaisi painosta suurimman osan kehyksen kanssa. Nostoyksikkö olisi noin 2,5 m korkea, 2-2,5 m pitkä ja 1,5 m leveä ja olisi nostosylinterin osalta muodoiltaan lähempänä kuvien 10 ja 11 piirroksia kuin kuvan 8 kaltaista. Sen siirtelyyn vaadittaisiin näin ollen pumppukärryjen sijaan trukkia tai nosturia. Huoltohallista löytyy 10 tonnin kapasiteetin kattonosturi, jolla nostoyksiköiden siirtely onnistuisi, mutta olisi hidasta ja hankalaa.



Kuva 10. Nostoyksikkö sivultapäin



Kuva 11. Nostoyksikkö ylhäältäpäin

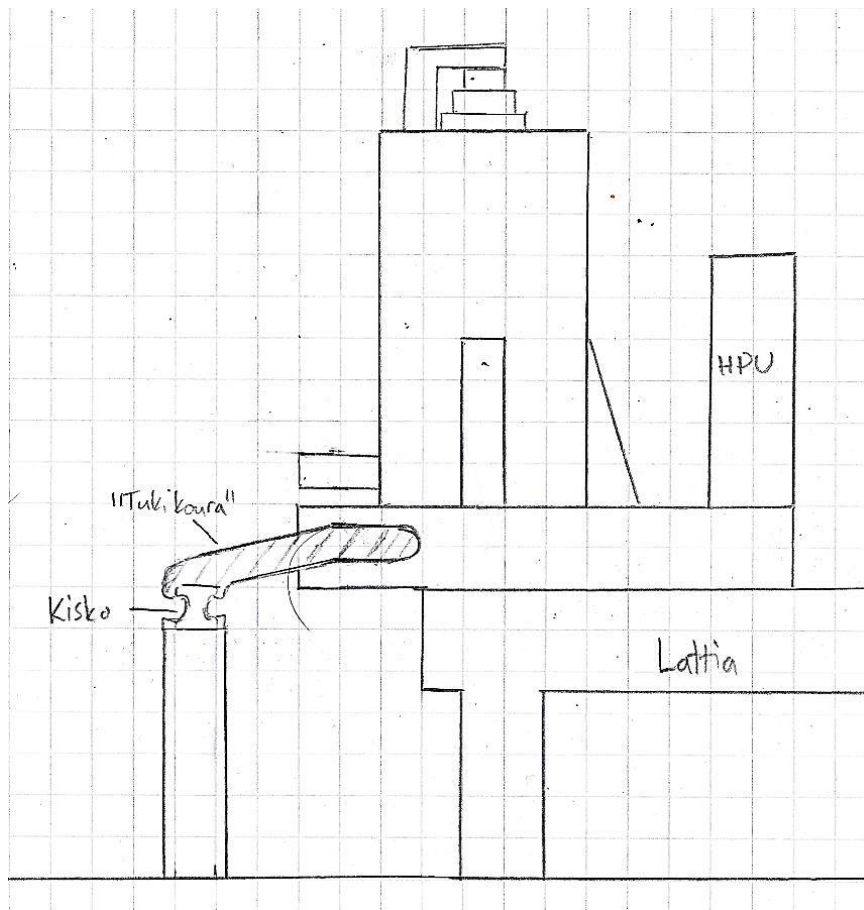
Jotta nostoyksiköstä saataisiin tarvittavan vakaa ja ettei teleskooppisylinteri nurjahtaisi kuormaa 3 m:iin nostettaessa, tarvitsisi teleskooppisylinteri ympärilleen teräksisen tukirakenteen, joka muodostuisi neliönmuotoisista teleskooppiputkista. Ne ympäröisivät teleskooppisylinteriä kaikilta muilta sivuilta, paitsi nostokoukun kohdalta, eli nostoyksikön etuosasta, kuten kuvan 11 piirustuksesta voi havaita. Nostokoukun kohdalta tukirakenne tulee jättää avoimeksi, koska nostokoukun tulee olla mahdollisimman lähellä nostosylinteriä sivuttaisvoimien minimoimiseksi. 3 m:iin nostava teleskooppisylinteri olisi todennäköisesti 3-vaiheinen, mutta 4-vaiheinenkin teleskooppisylinteri olisi mahdollinen vaihtoehto.

3.2 Konseptisuunnitelmat

Konseptisuunnitelmat luotiin Oulun vierailulla saatujen tietojen, tehtyjen huomioiden, Tecalemit Industrial Oy:n Ari Luukkosen antamien vinkkien sekä Enerpacin edustajan kanssa käydyn sähköpostikeskustelun pohjalta ja jokaisesta vaihtoehdosta piirrettiin paperille hahmotelma.

3.2.1 Vaihtoehto 1: Tuki kiskosta

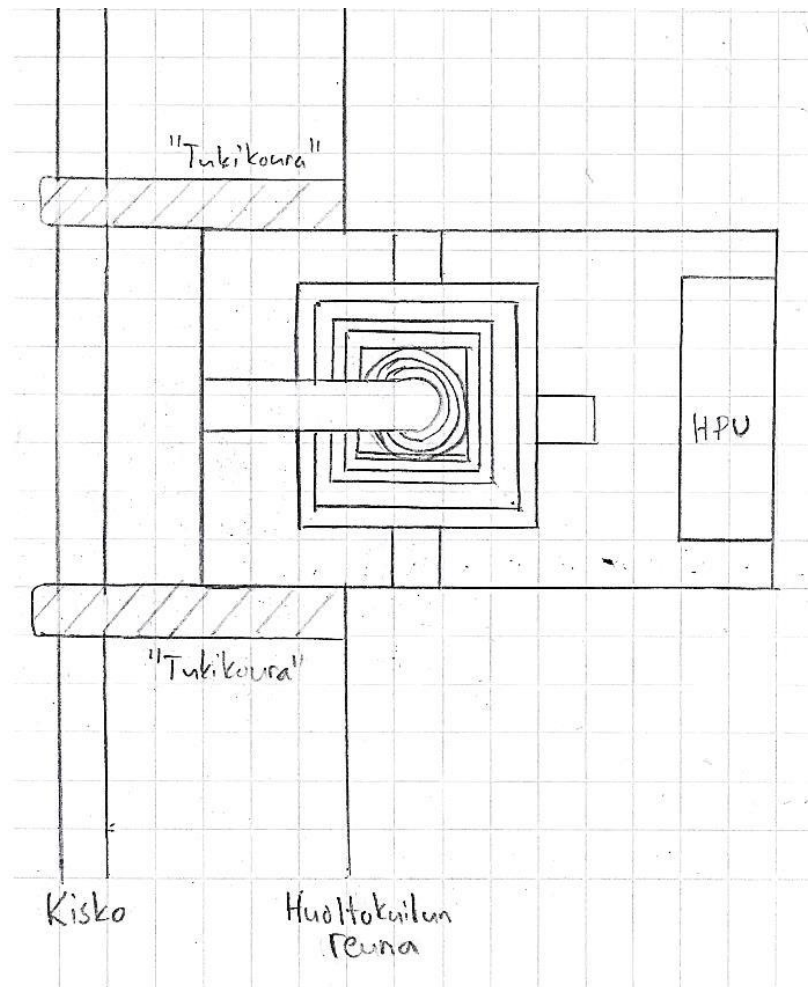
Vaihtoehto 1 oli, että nostosylinteriysikköön kiinnitettäisiin molemmille sivuille erääläiset teräksiset ”kourat”, jotka ajettaisiin kiskon päälle, kuten kuvan 12 ja 13 piirustuksissa, ja täten tuki nostoa varten saataisiin kiskosta. ”Tukikourat” olisivat hydraulisesti liikuteltavia ja ne liitettäisiin kiinteästi nostoyksikköön ja sen hydraulijärjestelmään, jolloin niitä voitaisiin operoida nostoyksikön ohjaustaulusta tai erillisestä ohjaustaulusta.



Kuva 12. "Tuki kiskosta" sivultapäin

Vaihtoehdon etuina olisi, että kaikki nostoyksikön osat olisivat yhdessä, jolloin ei tarvitsi siirrellä kuin itse nostoyksikköä. "Kourat" eivät nostaisi nostoyksikön kokonaispainoa merkittävästi, mutta leventäisivät nostoyksikköä hieman etupuolelta. Myös ohjattavuutta ohjaustaulusta pidettiin vaihtoehdon etuna.

Vaihtoehto arvioitiin teknisesti toteutettavaksi. Kisko kestäisi sivusuunnasta tulevan voiman, joka tuen ottamisesta muodostuisi ja kouran kiinnittämistä nostoyksikköön ja yhdistämistä hydraulijärjestelmään ei arvioitu ongelmaksi. Käytännön kannalta vaihtoehtoa pidettiin myös järkevänä yhtenäisen rakenteensa ja helppokäyttöisyyden vuoksi.



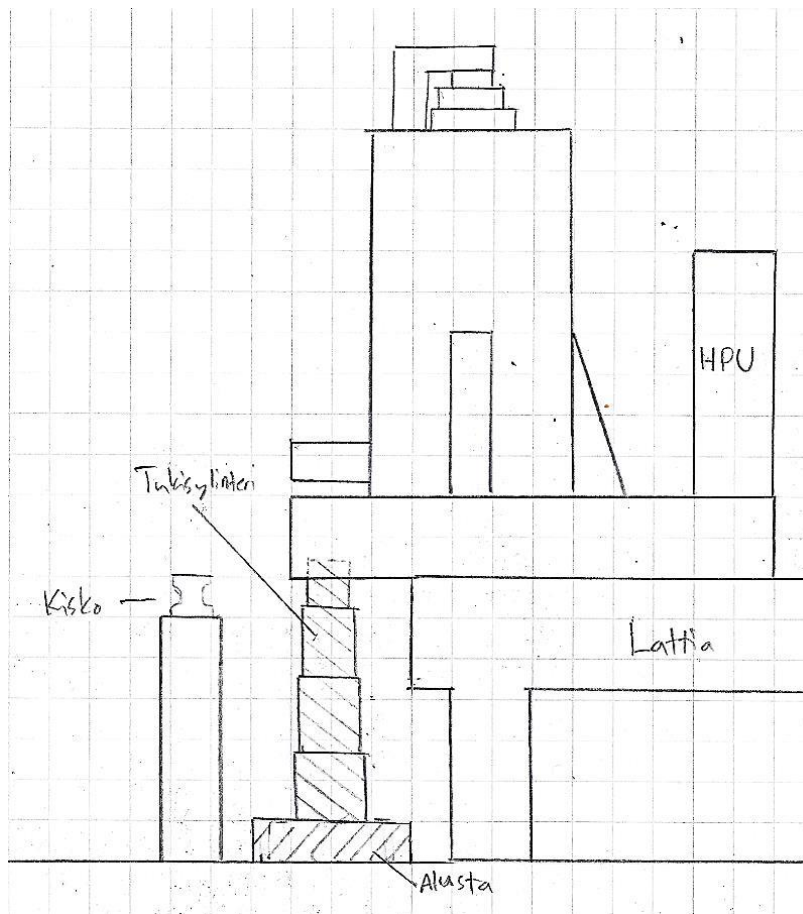
Kuva 13. "Tuki kiskosta" ylhäältäpäin

3.2.2 Vaihtoehto 2: Tukisylinterit huoltokuilun pohjalta nostoyksikköön

Vaihtoehto 2 oli, että huoltokuiluun sijoitettaisiin liikuteltava tukisylinterialusta, joka siirrettäisiin nostosylinterin alapuolelle ja josta tukisylinterit ajettaisiin ylöspäin tukemaan nostoyksikköä, kuten kuvissa 14 ja 15. Tämä tukisylinteriratkaisu koostuisi kahdesta kaksitoimisesta teleskooppisylinteristä, jotka olisivat kolmivaiheisia. Kaksitoimisia niiden tulisi olla vaiheiden takaisinvetämiseksi, sillä mikään ulkoinen voima ei olisi painamassa niitä alaspäin. Tukisylintereihin tulisi kohdistumaan myös lähes koko veturin paino, joten tukisylintereiden tulisi olla 15 tonnia per tukisylinteri kannattavia teleskooppisylintereitä.

Tukisylinterien liikuteltavuuden kannalta VR:n edustajat olivat sitä mieltä, että sen pitäisi olla helposti liikuteltavissa, koska huoltokuilu on suhteellisen ahdas alue ja tukisylin-

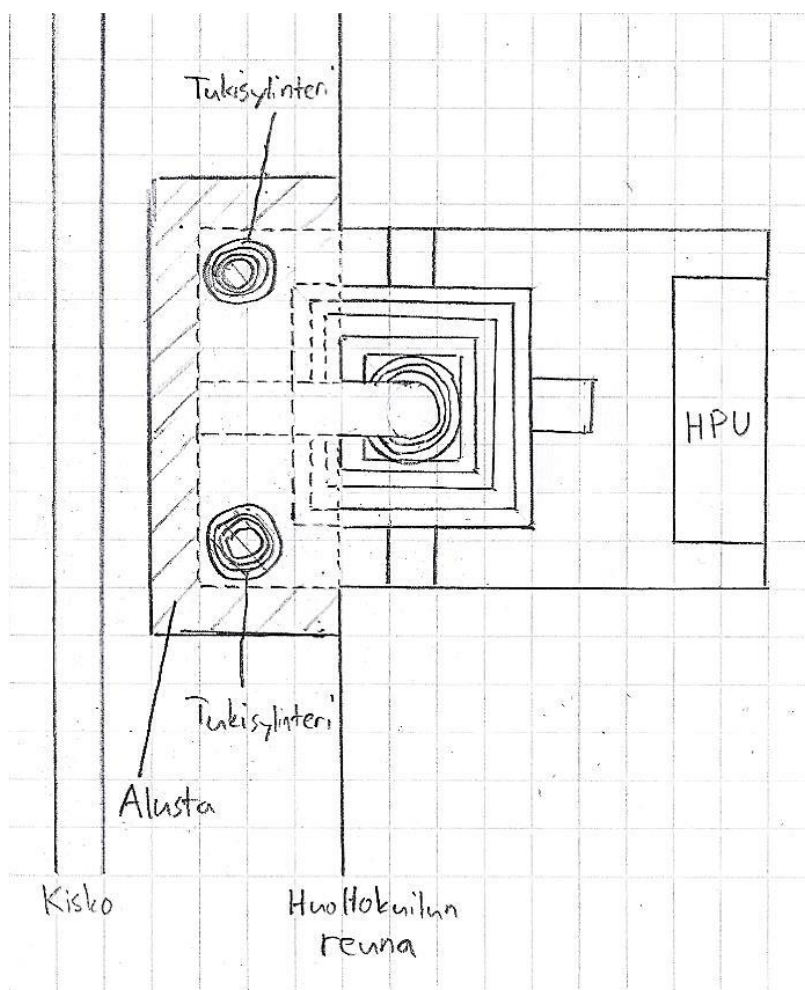
terit pitää saada siirrettyä sieltä myös pois tai mahdollisesti lattian alle tarpeen vaatiessa, jotta ne eivät olisi jaloissa muita huoltotöitä suoritettaessa.



Kuva 14. "Tukisylinterit huoltokuilun pohjalta nostoyksikköön" sivultapäin

Yksi idea oli asettaa huoltokuilun pohjalle jonkinäköinen kiskoratkaisu, jonka päällä tukisylinterialustaa liikuteltaisiin, mutta kyseinen idea hylättiin hyvinkin nopeasti, koska se olisi vaatinut rakenteellisia muutoksia huoltokuiluun. Toinen idea oli tehdä alustasta pumppukärriällä liikuteltava, minkä mukaan myös kuvien 14 ja 15 piirrokset on tehty.

Vaihtoehdossa eduksi arvioitiin, että se voitaisiin liittää samaan järjestelmään kuin nostoyksiköt ja ohjata tukisylinterioiden toimintaa samasta ohjaustaulusta. Haittapuolena olisi, että tukisylinterialustoja olisi yhteensä neljä kappaletta, yksi jokaista nostoyksikköä kohti. Jos tukisylinterialustat jouduttaisiin nostamaan huoltokuiluun ja sieltä pois joka kerta, kun kalustonnostolle olisi tarvetta, tarvittaisiin siihen nosturia, koska yksittäinen tukisylinterialusta painaisi useamman sata kiloa.

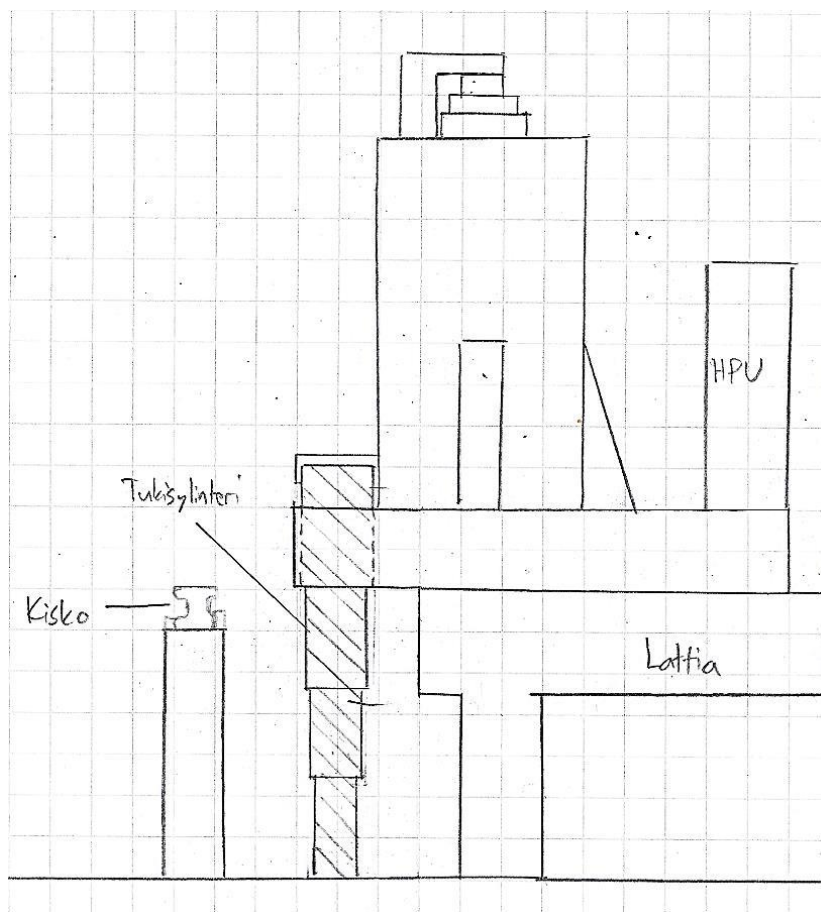


Kuva 15. "Tukisylinterit huoltokuilun pohjalta nostoyksikköön" ylhäältäpäin

Teknisesti vaihtoehto olisi toteutettavissa, samaan tyyliin kuin itse nostoyksikötkin, mutta käytännöllisyyden kannalta se ei olisi kovin toimiva vaihtoehto, johtuen edellä mainitusta haittapuolesta sekä huoltokuilun suhteellisen ahtaasta tilasta.

3.2.3 Vaihtoehto 3: Tukisylinterit nostoyksiköstä huoltokuilun pohjalle

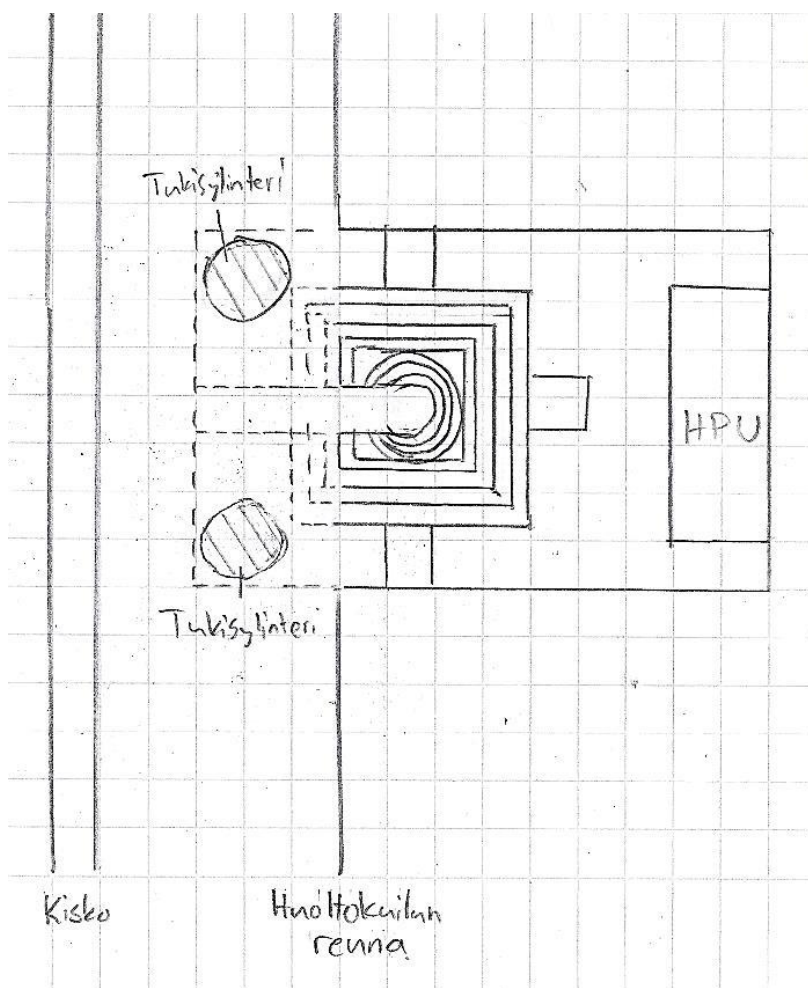
Vaihtoehto 3 oli vaihtoehto 2 käänteisesti teleskooppisylinterien osalta eli nostoyksikköön kiinnitettäisiin kaksi tukisylinteriä, jotka ajettaisiin alaspäin, huoltokuilun pohjaan, kuten kuvista 16 ja 17 voi havaita. Tukisylinterien spesifikaatiot olisivat tässä vaihtoehdossa täysin samat kuin vaihtoehdossa 2. Kaksitoimisia teleskooppisylinterien tulisi olla, jotta ne saataisiin vedettyä takaisin ylös alkutilaansa.



Kuva 16. "Tukisylinterit nostoyksiköstä huoltokuilun pohjalle" sivultapäin

Tämän ratkaisun etuna olisi, että koko nostoyksikkö olisi yhdessä osassa, mikä helpotaisi nostoyksikön liikuttelua, eikä nostoyksikön painokaan nousisi kokonaisuuteen nähden merkittävästi. Lisäpainoa nostoyksikköön tulisi kahden tukisylinterin lisäyksen myötä noin 200–300 kg, joka tosin tulisi kaikki nostoyksikön etuosaan ja se lisäisi nostoyksikön etupainotteisuutta. Nostoyksikön kippaamisriskin eli huoltokuiluun kaatumisriskin mahdollisuutta mietittiin etupainotteisuuden vuoksi, mutta sen ei arvioitu olevan ongelma, sillä nostoyksikkö olisi 2–2,5 m pitkä ja siitä maksimissaan 60 cm ulottuisi reunan ylitse, joten suurin osa painosta olisi tukevasti lattiaa vasten.

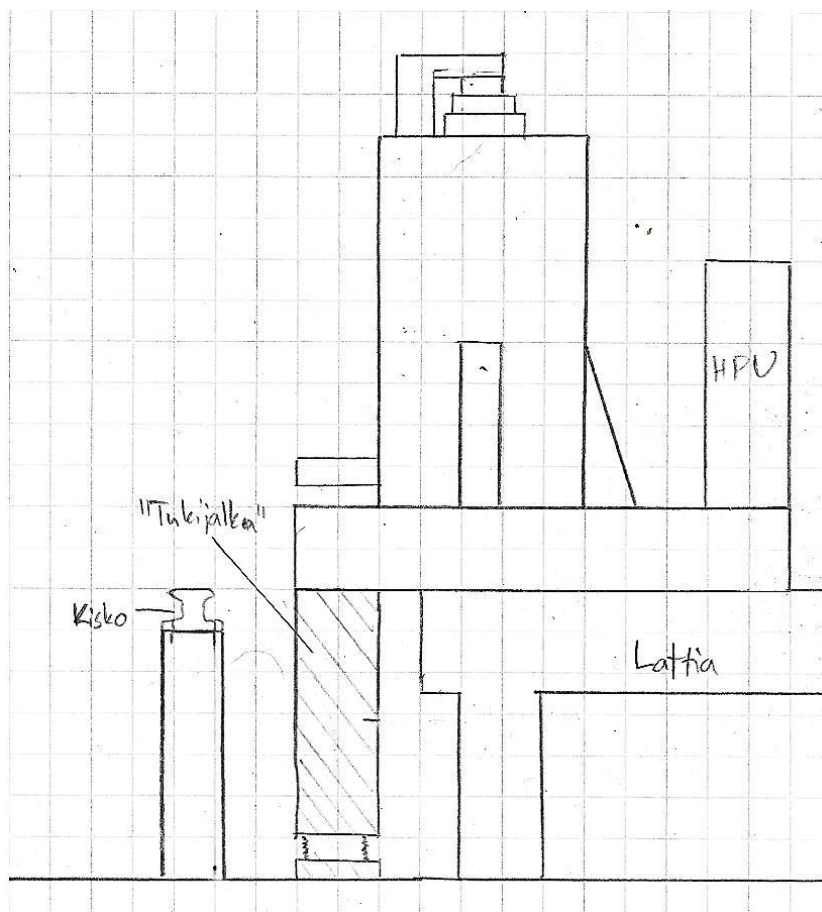
Teknisesti tämä vaihtoehto arvioitiin toteutettavaksi, ja käytännöllisyyden kannalta se olisi myös helppokäyttöinen, sillä tukisylinterit olisivat kiinni nostoyksikössä ja niitä voitaisiin ohjata samasta ohjaustaulusta kuin muitakin nostojärjestelmän laitteita.



Kuva 17. "Tukisylinterit nostoyksiköstä huoltokuilun pohjalle" ylhäältäpäin

3.2.4 Vaihtoehto 4: Tukijalat

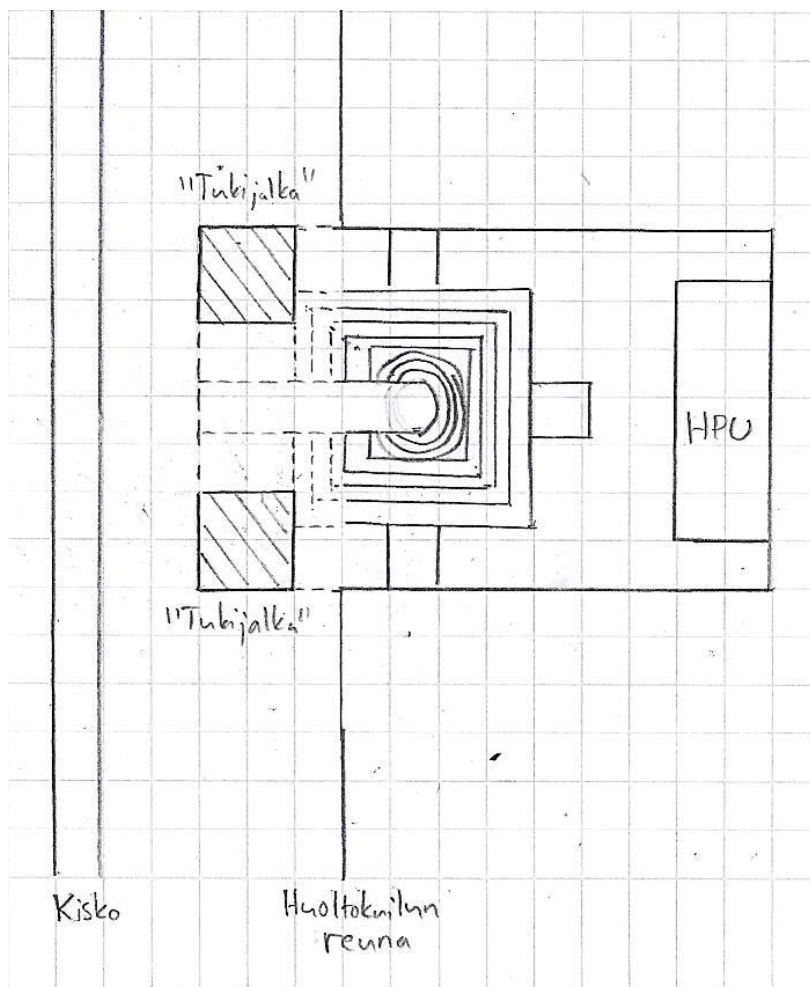
Vaihtoehdossa 4 nostoyksikköä tuettaisiin kahdella, noin 1,2 m pitkällä teräspalkilla eli tukijalalla, jotka kiinnitettäisiin nostoyksikön etuosan pohjaan, kuten kuvissa 18 ja 19. Teräspalkkien pohjassa puolestaan olisi säätöruuvit, jotka ruuvattaisiin auki ja joilla säädettäisiin viimeiset 0,2 m huoltokuilun pohjaan. Säätöruuvien kanta olisi tasapintainen, jotta jaloilla saataisiin vakaa tuki huoltokuilun pohjasta nostoyksikölle.



Kuva 18. "Tukijalat" sivultapäin

Vaihtoehdon hyvänä puolena olisi sen yksinkertaisuus ja helpohko toteutettavuus, mutta haittapuolena, että tukijalat olisivat erillisiä osia ja ne eivät olisi käsivoimin liikuteltavissa suuren painonsa vuoksi. Tukijalat olisivat todennäköisesti tarpeeksi "ohuita", että ne voitaisiin säilöä lattian alapuolella silloin, kun niille ei ole käyttöä eli niitä ei tarvitsisi nostaa huoltokuilusta ylös välttämättä ollenkaan, mutta niiden liikuttelu vaatisi apulaitteiston käyttöä.

Teknisesti tämä vaihtoehto olisi toteutettavissa, mutta käytännöllisyyden kannalta se olisi melko huono ratkaisu tukijalkojen vaikean liikuteltavuuden vuoksi.



Kuva 19. "Tukijalat" ylhäältäpäin

3.3 Konseptisuunnitelmien vertailu

Konseptisuunnitelmien vertailuun käytettiin konseptinvalintatyökalua, jolla konseptisuunnitelmavaihtoehdot pystyttiin pisteyttämään ja valikoimaan siten vaihtoehtoista paras. Konseptisuunnitelmien kriteerit järjestettiin ensin tärkeysjärjestykseen, jonka myötä kukin kriteeri sai tärkeyskertimensä. Tämän jälkeen jokainen vaihtoehto pisteytettiin asteikolla 1–5 sen mukaan, kuinka hyvin ne täyttivät kriteerit.

3.3.1 Konseptinvalintatyökaluesimerkki

Taulukon 1 esimerkissä konseptityökalua käytetään kävelykeppien materiaalien vertailuun. Konsepteille on annettu vaatimukset, joita on määritelty esimerkissä yhteensä kahdeksan kappaletta. Vaatimukset on asetettu tärkeysjärjestykseen, antaen tärkeim-

mälle vaatimukselle ("Kannateltava max 120 kg henkilön massaa vaurioitumatta") suurimman arvon eli tässä tapauksessa arvon 8,0, toiseksi tärkeimmälle ("Ei saa liukua eri alustoilla") arvon 7,0, ja niin edelleen. Kaksi vaatimusta voidaan myös arvioida yhtä tärkeiksi, jolloin niille annettaisiin tärkeyssarakkeeseen sama arvo.

Taulukko 1. Esimerkki konseptinvalintatyökalun käytöstä [13]

Vaatus	Suure	Tärkeys	Teräs		Hiilikuitu	
			Arvostelu	Pisteet	Arvostelu	Pisteet
Kannateltava max 120 kg henkilön massaa vaurioitumatta	Max kuormitus 1200 N (lommahduksen kesto)	8	4	32	3	24
Ei saa liukua eri alustoilla	"Jalkaosassa" korkea kitkakerroin, kitkakerroin muovilattia/keppi 0.x	7	3	21	3	21
Kevyt rakenne	Kepin max massa 3 kg	6	3	18	5	30
Tuotteen hinta keskisegmentissä	80 €	5	4	20	2	10
Tuote ei aiheuta allergisia reaktioita	Anti-allergeeniset materiaalit	4	5	20	5	20
Tuotteen kestävä pudotusta	Pudotuskestävyys 2 m korkeudesta betonilattialle	3	4	12	3	9
Ei teräviä kulmia	Lisättävä min 2 mm pyöristys jokaiseen terävään kulmaan	2	4	8	4	8
"Ohut rakenne"	Kepin runkoputken max halkaisija 15 mm	1	3	3	5	5
Total Rating				134		127
Normalized Rating				1		0,94776
Final Ranking				1		2

Esimerkissä vertaillaan kahta materiaalia, terästä ja hiilikuitua, ja niille on annettu arvostelusarakkeeseen jokaiselle riville arvo 1–5, riippuen siitä kuinka hyvin ne täyttävät rivin vaatimuksen. Arvo 5 tarkoittaa, että materiaali saavuttaa vaatimukset erinomaisesti, arvo 1 huonosti ja muut arvot siltä väliltä.

Tärkeyssarakkeen arvo ja arvostelusarakkeen arvo kerrotaan keskenään jokaisella vaatimusrivillä, josta muodostuu pistesarakkeeseen materiaalin saamat pisteet. Taulukossa 1 teräs saa tärkeimmästä vaatimuksesta 32 pistettä ja hiilikuitu 24 pistettä. Vaatimusrivien pisteet summataan yhteen, mistä muodostuu materiaalin kokonaispistemäärä (teräs 134 ja hiilikuitu 127 pistettä). Esimerkissä lopputuloksena on, että teräs on parempi valinta.

3.3.2 Tukiratkaisujen vertailu konseptinvalintatyökalulla

Konseptinvalintatyökalulla pisteytettiin konseptivaihtoehdot, käyttäen taulukossa 2 näkyviä kuutta kriteeriä. Arvosteluasteikko oli sama kuin yllä olevassa esimerkkitapauksessa eli 1–5. Kriteerit olivat seuraavat.

Liikuteltavuus: Tarvitsisiko tukiratkaisu liikutteluun erillistä välineistöä, esim. nosturia tai pumppukärryä vai onko se kiinteästi kiinni nostoyksikössä. Jos tukiratkaisu olisi kiinteästi kiinni nostoyksikössä, haittaisiko se nostoyksikön siirtelyä.

Valmisteluihin menevä aika: Mitä nopeammin kukin tukiratkaisu arvioitiin saatavaksi paikoilleen, sitä parempi arvosana vaihtoehdolle annettiin. Jos tukiratkaisu vaati esimerkiksi tarkempaa asemointia ja olisi näin ollen hitaampi, se sai huonommat pisteet.

Osien määrä: Kuinka monta osaa tukiratkaisussa olisi erikseen nostoyksiköstä. Jos tukiratkaisu olisi kiinni nostoyksikössä, ei siinä olisi yhtään erillistä osaa, jolloin sille annettiin täydet 5 pistettä. Mitä enemmän erillisiä osia, sitä vähemmän vaihtoehto sai pisteitä.

Valmistelujen vaativuus: Kuinka monta henkilöä tuen paikoilleen saanti vaatisi, kuinka paljon vaatisi manuaalista työtä, työvaiheiden määrää, ja niin edelleen. Mitä vähemmän edellä mainittuja, sen parempi.

Paino: Tukiratkaisun paino suhteessa nostoyksikön painoon, joka olisi jo itsessään suuri. Mitä kevyempi tukiratkaisu olisi, sen parempi.

Kompaktius: Tukiratkaisun viemä tila. Mitä vähemmän se veisi tilaa, sen parempi,

Taulukko 2. Konseptisuunnitelmien vertailu

Kriteeri	Tärkeys	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3		Vaihtoehto 4	
		Arvostelu	Pisteet	Arvostelu	Pisteet	Arvostelu	Pisteet	Arvostelu	Pisteet
Liikuteltavuus	6	5	30	3	18	5	30	2	12
Valmisteluihin menevä aika	5	5	25	2	10	4	20	1	5
Osien määrä	4	5	20	3	12	5	20	2	8
Valmistelujen vaativuus	3	4	12	2	6	4	12	1	3
Paino	2	4	8	2	4	3	6	2	4
Kompaktius	1	4	4	2	2	4	4	2	2
		99		52		92		34	
		1		0,5253		0,9293		0,3434	
		1		3		2		4	

4 Tulokset

Kuten taulukosta 2 voidaan havaita, parhaat pisteet konseptinvalintatyökalussa sai kiskotukivaihtoehto, mutta vaihtoehto jouduttiin kuitenkin hylkäämään, koska joissain VR:n veturi- ja vaunumalleissa telin pyörät osuvat juuri nostopisteiden kohdalle, jolloin tukea kiskosta ei siitä kohdin voida ottaa.

Konseptinvalintatyökalun tulosten pohjalta toimivimmaksi konseptisuunnitelmaksi valikoitui vaihtoehdon 1 hylkäyksen jälkeen, selkeällä erolla kahteen muuhun vaihtoehtoon, vaihtoehto 3, jossa tukisylinterit ajettaisiin nostoyksiköstä huoltokuilun pohjaan. Huonoimmaksi todettiin vaihtoehto 4, joka todettiin lähes joka osa-alueella huonoksi ratkaisuksi.

Vaihtoehdossa 3 tukiratkaisu on kiinteästi kiinni nostoyksikössä, jolloin ei tarvitse liikutella erillisiä osia ja tukisylinterit ovat suhteellisen nopeasti ajettavissa huoltokuilun pohjaan, kun nostoyksikkö on tuotu nostopisteeseen. Tukisylintereitä voidaan myös hallinnoida samasta ohjauspaneelistä kuin nostojärjestelmän muita laitteita, mikä helpottaa järjestelmän hallinnoimista. Vaihtoehto 3 arvosteltiin erinomaisille tai hyvälle pisteille lähes joka kriteerillä. Ainostaan painon osalta vaihtoehto sai keskinkertaiset pisteet, mutta toisaalta siinäkin vaihtoehto 2 sai samat pisteet ja vaihtoehto 4 huonommat pisteet.

Vaihtoehdot 2 ja 3 ovat periaatteessa samankaltaisia teleskoopitukisylinteriratkaisuja, toimintasuunnaltaan vain päinvastaisia, mutta vaihtoehto 2 häviää silti selkeästi vaihtoehdolle 3. Tämä johtuu siitä, että vaihtoehdon 2 tukisylinteriratkaisua joudutaan siirtämään erillään nostosylinteristä, omalla alustallaan, joka heikentää vaihtoehdon pisteitä usealla osa-alueella.

5 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tehdä konseptisuunnitelmia Enerpacin synkronisen nostoyksikön tukiratkaisulle ja niiden tuli olla teknisesti toteutettavissa ja myös käytännöllisiä. Kaikki konseptisuunnitelmat todettiin teknisesti toteutettaviksi ja konseptinvalintatyökalun tuloksia voidaan pitää eräänlaisena tuen konseptisuunnitelmien käytännöllisyyden mittarina. Vaihtoehdot 1 ja 3 voitaisiin luokitella käytännöllisiksi vaihtoehdoiksi, mutta vaihtoehtoja 2 ja 4 puolestaan ei niinkään.

Enerpacin synkronisen nostojärjestelmän tarjous VR:lle on yhä avoimessa tilassa. VR:n tarvitseman 3 m nostotarpeen mukaan sitä ei ole kuitenkaan järkevää toteuttaa kyseisellä nostojärjestelmällä. Nostoyksikön teleskooppisylinterin ympärilleen tarvitsemat tukirakenteet nostavat nostoyksikön painoa merkittävästi, minkä lisäksi 3 m:iin nostettaessa teleskooppisylinteriin kohdistuvat sivuttaisvoimat kasvaisivat sekä huojunta lisääntyisi.

Kyseisen synkronisen nostolaitteiston merkittäviä etuja alun perin olivat nostoyksikön suhteellisen helppo siirtäminen pumppukärryillä ja nopea paikoilleen asettelu, mutta molemmat edut menetettäisiin painon merkittävästi noustessa ja yhden nostoyksikön siirtelyyn sekä paikoilleen asetteluun vaadittaisiin trukkia tai nosturia.

Jos VR muuttaisi suunnitelmiaan eikä tekisi Oulun varikollaan laisinkaan huolto- tai korjaustöitä, jotka vaatisivat 3 m:iin nostoa, vaan tekisi kyseiset työt esimerkiksi Helsingin varikollaan, voitaisiin Oulun varikolle mahdollisesti toteuttaa kaluston nosto käyttäen Enerpacin synkronista nostojärjestelmää, jossa nostokorkeus olisi 1,3 m. Tällöin nostosylinterin ja siten nostoyksikön koko pienenesi huomattavasti ja ne saisivat edellä mainitut etunsa takaisin. Tässä tapauksessa tukiratkaisuille olisi jälleen konkreettista tarvetta, jolloin näitä tuen konseptisuunnitelmia voitaisiin käyttää pohjana tukiratkaisun ideoinnissa.

Lähteet

- 1 English summary. 2013. Verkkodokumentti. Tecalet Industrial Oy.
<<http://www.tecaletindustrial.fi>>. Luettu 6.11.2013.
- 2 About Enerpac. 2014. Verkkodokumentti. Enerpac.
<<http://www.enerpac.com/en/company-history-mission>>. Luettu 20.4.2014.
- 3 VR Group yrityksenä. 2014. Verkkodokumentti. VR Group.
<<http://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/vr-group-yrityksena/>>. Luettu 20.4.2014.
- 4 Enerpac E326e Tuoteluettelo. 2012. Verkkodokumentti. Enerpac.
<http://www.enerpac.com/sites/default/files/e326e_8208_fi.pdf>. Luettu 3.5.2014.
- 5 Enerpac EVO-Series Synchronous Lifting Systems. 2013. Verkkodokumentti. Enerpac.
<http://www.enerpac.com/sites/default/files/8766_gb_lft_evo_synclift.pdf>. Luettu 3.5.2014.
- 6 Hydrauliteknikka. 2007. Verkkodokumentti. Lappeenranta teknillinen yliopisto.
<<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk60a0001/lisatty/hydrauliteknikka.pdf>>. Luettu 4.5.2014.
- 7 Keinänen, Toimi; Kärkkäinen Pentti. 2009. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOYpro Oy.
- 8 Paavilainen, Heikki. 2010. Hydraulikka 1 luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Hitchcox, Alan. 2006. Telescoping cylinders go the extra distance. Verkkodokumentti.
<<http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Cylinders/Article/False/21653/TechZone-Cylinders>>. Luettu 20.4.2014.
- 10 Train Lift System. 2012. Verkkovideo. YouTube.
<<https://www.youtube.com/watch?v=ZM0xOG89A5o>>. Katsottu 28.4.2014.
- 11 Havainnekuva Oulun varikosta. 2014. Verkkodokumentti. VR Group.
<<http://www.vr-konserni.fi/fi/index/medialle/kuvapankki/ouluvarikko.html>>. Katsottu 28.4.2014.
- 12 Mäenpää, Marjo. 2009. Konseptisuunnittelu. Verkkodokumentti.
<http://www2.uiah.fi/~mmaenpaa/lectures/konseptisuunnittelu_perusteet.pdf>. Luettu 3.5.2014.

- 13 Paavilainen, Heikki. 2012. Konseptivalintatyökalu. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.