



**TURUN
YLIOPISTO**

**Työmaakohtainen kuormitusindeksi
Stara Rakennustekniikassa**

Santeri Lehtonen

Kandidaatintutkielma
Sovellettu matematiikka, Turun yliopisto
30. syyskuuta 2025

Tiivistelmä

Tutkielmassa kehitetään työmaakohtainen kuormitusindeksi korjausrakentamisen työnjohdon kuormittavuuden arviointiin Stara Rakennustekniikan toimintaympäristössä. indeksi koostuu kuudesta korista (A–F), joiden sisällä parametrit normalisoidaan min–max-menetelmällä välille $[0, 1]$ ja yhdistetään hierarkkisesti painotetuiksi arvoiksi. Menetelmä tukee työmaiden välistä vertailua ja resurssiohjauksen läpinäkyvyyttä. Tämän tutkielman tekemiseen on käytetty apuna ChatGPT-tekoälytyökalua muodostamaan edistyksellisempää Latex-koodia.

Avainsanat: min–max-normalisointi; skaalaus; kuormitusindeksi; työnjohto; korjausrakentaminen; resurssienhallinta

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Teoreettinen viitekehys	3
2.1	Työkuorman käsite	3
2.2	Työkuormitus rakennusalalla	4
2.3	Kuormittavuuden mittaaminen	4
3	Tutkimusasetelma ja menetelmät	4
3.1	Konstrukttiivinen lähestymistapa	4
3.2	Rajaukset ja aineisto	4
3.3	Rakenne ja normalisointi	5
3.4	Painot ja aggregointi	5
4	Kuormitusindeksin malli	7
4.1	Hierarkkinen rakenne	7
4.2	Parametrien mittausasteikot	7
4.3	Raja-arvot ja muunnokset	9
4.4	Esimerkkilaskelma	10
5	Tuloksen analysointi	11
5.1	Laskennan kulku	11
5.2	Tulosten tarkastelu	11
5.3	Havainnollistaminen	12
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	13

1 Johdanto

Rakennusalan projektien johtaminen on monimuotoista ja kuormittavaa työtä, jossa työnjohtajien vastuualueet voivat vaihdella huomattavasti työmaiden välillä. Toiset työmaat voivat olla suhteellisen yksinkertaisia ja lyhytkestoisia, kun taas toiset edellyttävät huomattavaa koordinoitua, teknistä osaamista ja hallinnollista panostusta. Työnjohdon kuormituksen arvioiminen on siten keskeinen osa sekä työhyvinvoinnin ylläpitämistä että projektien onnistumisen varmistamista.

Helsingin kaupungin liikelaitos Stara rakennustekniikan korjausrakentamisen yksikkö toimii ympäristössä, jossa työn kirjo on poikkeuksellisen monipuolinen. Työmaat voivat vaihdella yksittäisten pienkorjausten ja mittavien peruskorjausten välillä. Yksikön erityispiirre on juuri tämä vaihtelu: työnjohtajien kuormitus ei riipu pelkästään työmaan taloudellisesta mittakaavasta vaan myös useista muista tekijöistä, kuten logistiikan toimivuudesta, käytönaikaisista rajoitteista ja hallinnollisista velvoitteista. Tämä tekee kuormittavuuden arvioinnista haastavaa, ja tarpeelliseksi kehittää systemaattinen malli.

Kuormittavuuden vaikutuksia työhyvinvointiin on tutkittu myös rakennusalalla. Rakennusalan työnjohtajien kuormitusta kuvaavat erityisesti kognitiiviset vaatimukset, aikataulupaineet ja turvallisuusvastuu [1, s. 28–34]. Nämä havainnot tukevat näkemystä, että työnjohtajien kuormittavuutta tulisi tarkastella useiden ulottuvuuksien kautta.

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on kehittää työmaakohtainen kuormitusindeksi, jonka avulla voidaan arvioida yksittäisen työmaan kuormittavuutta työnjohdolle. Indeksillä rakentuu kuudesta osa-alueesta, jotka kattavat työmaan keskeiset kuormitustekijät. Nämä ovat mittakaava ja intensiteetti, koordinointi ja sidosryhmät, tekninen ja toteutusellinen kompleksisuus, logistiikka ja sijainti, hallinnollinen kuorma sekä käytön aikaiset rajoitteet. Tutkielma nojaa konstruktiiiviseen lähestymistapaan: sen tarkoituksena on kehittää systemaattinen malli, joka mahdollistaa työmaiden välisen kuormittavuuden vertailun juuri Stara Rakennustekniikan toimintaympäristössä. Mallin pohjalta voidaan jatkossa arvioida työnjohtajien kokonaiskuormitusta ja tukea resurssien jakamista. Tämä kandidaatintutkielma toimii siten perustana mahdolliselle pro gradu -tutkielmalle, jossa kuormitusmallia voidaan laajentaa ja optimoida edelleen.

Tutkielman matemaattinen näkökulma nojaa erityisesti *min-max-normalisoinnin* hyödyntämiseen [3, 3. painos, luku 3]. Normalisoinnin avulla eri mittakaavoissa olevat parametrit skaalataan välille $[0, 1]$, mikä mahdollistaa niiden vertaamisen ja yhdistämisen yhteen kokonaisindeksiin. Menetelmä on yksinkertainen mutta tehokas tapa varmistaa etteivät yksittäiset parametrien suuret arvot hallitse suhteettomasti lopputulosta, ja se luo pohjan täsmälliselle matemaattiselle käsittelylle tässä tutkielmassa.

2 Teoreettinen viitekehys

2.1 Työkuorman käsite

Työkuormalla tarkoitetaan kokonaisuutta, joka muodostuu työn fyysisistä, kognitiivisista ja psykososiaalisista vaatimuksista. Fyysisellä kuormituksella viitataan työntekijän kehon kuormittumiseen, kuten raskaisiin nostoihin tai ergonomisiin haasteisiin. Työnjohtajan näkökulmasta fyysinen kuormitus ilmenee useammin epäsuorasti esimerkiksi työmaan melusta, jatkuvista häiriötekijöistä ja tapaturmariskeistä. Kognitiivinen kuormitus liittyy päätöksentekoon, ongelmanratkaisuun ja tarkkaavaisuuden ylläpitämiseen. Psykososiaalinen kuormitus kytkeytyy työn ihmissuhteisiin, vuorovaikutukseen ja työn organisoimisen selkeyteen. Rakennusalalla työnjohtajien työkuorma on tyypillisesti vähemmän

fyysistä ja enemmän kognitiivista ja psykososiaalista.

Liiallinen kuormitus voi heikentää paitsi työssä jaksamista ja työhyvinvointia myös koko projektin onnistumista. Aikapaineet, samanaikaiset työvaiheet ja jatkuvat muutokset työympäristössä ovat toistuvasti esiin nousevia kuormitustekijöitä [1, s. 28–34]. Tästä syystä työnjohdon kuormittavuutta on perusteltua tarkastella useiden eri ulottuvuuksien kautta.

2.2 Työkuormitus rakennusalalla

Rakennusala on luonteeltaan projektimuotoinen toimiala, jossa työkuorma vaihtelee työmaittain ja projektin eri vaiheissa. Vastuu työnjohtajan näkökulmasta määräytyy muun muassa työmaan rakenteesta, teknisestä vaativuudesta ja logistisista haasteista. Korjausrakentamisessa haastavuutta lisää se että kohteet voivat olla käytössä työn aikana, mikä aiheuttaa aikataulullisia meluun ja liikkumiseen liittyviä rajoitteita. Korjausrakentamisen ennakoimattomuus, kuten piilovauriot, puutteelliset suunnitelmat ja rakenteelliset yllätykset — kasvattaa työnjohtajan kuormitusta; näistä haasteista on koottu analyysiä mm. Abellin työssä [2, s. 14–15, 35]. Projektinhallinnan kirjallisuudessa on korostettu, että rakennusprojekteja tulisi tarkastella kokonaisvaltaisina järjestelminä, joissa kuormitusta aiheuttavat sekä tekniset että organisatoriset tekijät [5, s. 7–9].

Työturvallisuuden varmistaminen on olennainen osa työnjohtajan tehtävää. Työmaiden vaihtelevuus ja moninaiset riskitekijät lisäävät velvollisuuksia turvallisuuden organisoinnissa ja valvonnassa. Turvallisuuteen liittyvä kuormitus sisältää ennakoivan suunnittelun, ohjeistamisen ja valvonnan. Turvallisuusvastuu kasvattaa henkistä kuormaa, sillä toimintaan ympäristössä, jossa on paljon riskitekijöitä ja tapaturmien sattuessa vahingot voivat olla mittavia.

2.3 Kuormittavuuden mittaaminen

Työkuormituksen mittaamiseen ei ole yhtä universaalia menetelmää vaan arviointi perustuu yhdistelmiin kyselyistä, itsearvioista, työaikaseurannasta ja tuotantoluvuista. Rakennusalalla ja erityisesti korjausrakentamisessa kuormittavuuden mittaaminen on haastavaa, sillä työmaat poikkeavat merkittävästi toisistaan ja työkuorman lähteet ovat moninaisia. Perinteiset taloudelliset mittarit, kuten urakkabudjetti, eivät yksin kuvaa työnjohdolle aiheutuvaa kuormitusta. Esimerkiksi lyhytkestoinen mutta intensiivinen työmaa voi olla hetkellisesti kuormittavampi kuin laaja, tasaisesti etenevä hanke. Moniulotteinen indeksi tarjoaa keinon yhdistää keskeiset tekijät vertailukelpoiseksi luvuksi.

3 Tutkimusasetelma ja menetelmät

3.1 Konstruktiivinen lähestymistapa

Tutkielman lähestymistapa on konstruktiivinen, eli tavoitteena on kehittää käytännön tarpeisiin soveltuva malli, ei testata valmista teoriaa. Esitettävä kuormitusindeksi on rakennettu arvioimaan yksittäisen työmaan kuormittavuutta työnjohtajan näkökulmasta. Indeksien rakenne pohjaa sekä aiempaan kirjallisuuteen että tekijän kokemukseen Staran työnjohtotehtävistä.

3.2 Rajaukset ja aineisto

Tutkielman aineisto tullaan rajaamaan tekijän johtamaan yksittäiseen työmaahan ja sen on tarkoitus luoda teoreettinen pohja mahdollisille jatkotutkimuksille. Mittauksen tuloksia arvioidaan lopuksi objektiivisesti. Yleistettävyyttä voidaan jatkossa arvioida laa-

jemmalla aineistolla.

3.3 Rakenne ja normalisointi

Indeksi rakentuu kuudesta korista (A–F). Kunkin korin sisällä on parametreja, jotka normalisoidaan min–max-menetelmällä välille $[0, 1]$. Normalisoitu arvo merkitään symbolilla $\tilde{x}_{j,b,k}$, missä j viittaa työmaahan, b koriin ja k kyseisen korin parametrin indeksi.

3.4 Painot ja aggregointi

Indeksin laskenta etenee kahdessa tasossa.

Korien sisäinen yhdistäminen. Kullekin korille $b \in \{A, \dots, F\}$ määritellään parametrit $\tilde{x}_{j,b,1}, \dots, \tilde{x}_{j,b,n_b}$ ja niiden sisäiset painot $v_{b,1}, \dots, v_{b,n_b}$, jotka summautuvat yhteen:

$$\sum_{k=1}^{n_b} v_{b,k} = 1. \quad (1)$$

Korin arvo työmaalle j on

$$I_{b,j} = \sum_{k=1}^{n_b} v_{b,k} \tilde{x}_{j,b,k}. \quad (2)$$

Kokonaisindeksi. Korien painot w_b summautuvat yhteen:

$$\sum_{b \in \{A, \dots, F\}} w_b = 1, \quad (3)$$

ja kokonaisindeksi saadaan

$$I_j = \sum_{b \in \{A, \dots, F\}} w_b I_{b,j}. \quad (4)$$

Koripainot. Tässä työssä käytetään seuraavia koripainoja: $w_A = 0,20$, $w_B = 0,15$, $w_C = 0,20$, $w_D = 0,10$, $w_E = 0,20$, $w_F = 0,15$.

Korien sisäiset parametrien painot. Kunkin korin sisällä parametrit painotetaan erikseen. Esimerkiksi A-korissa (budjetti ja intensiteetti) painot ovat $v_{A,1} = 0,60$ ja $v_{A,2} = 0,40$. Vastaavasti muiden korien sisäiset painot määritellään seuraavasti:

$$\begin{aligned} \text{A-kori: } & v_{A,1} = 0,60, \quad v_{A,2} = 0,40, \\ \text{B-kori: } & v_{B,1} = 0,40, \quad v_{B,2} = 0,30, \quad v_{B,3} = 0,30, \\ \text{C-kori: } & v_{C,1} = 0,40, \quad v_{C,2} = 0,30, \quad v_{C,3} = 0,30, \\ \text{D-kori: } & v_{D,1} = 0,50, \quad v_{D,2} = 0,30, \quad v_{D,3} = 0,20, \\ \text{E-kori: } & v_{E,1} = 0,40, \quad v_{E,2} = 0,30, \quad v_{E,3} = 0,30, \\ \text{F-kori: } & v_{F,1} = 0,20, \quad v_{F,2} = 0,40, \quad v_{F,3} = 0,40. \end{aligned}$$

Painojen eksplisiittinen määrittely on linjassa monikriteerisen päätöksenteon (MCDA) yleisten periaatteiden kanssa [4, luku 2].

Alla esitettynä kaksi taulukkoa:

- **Taulukko 1:** koripainot w_b ,
- **Taulukko 2:** korien sisäiset parametripainot $v_{b,k}$, joissa myös pitkät parametrien nimet ja symbolit on taulukoitu.

Nämä taulukot muodostavat laskentamallin pohjan ja toimivat viitekehyksenä esimerkkilaskulle luvussa 4.4.

Taulukko 1: Koripainot w_b .

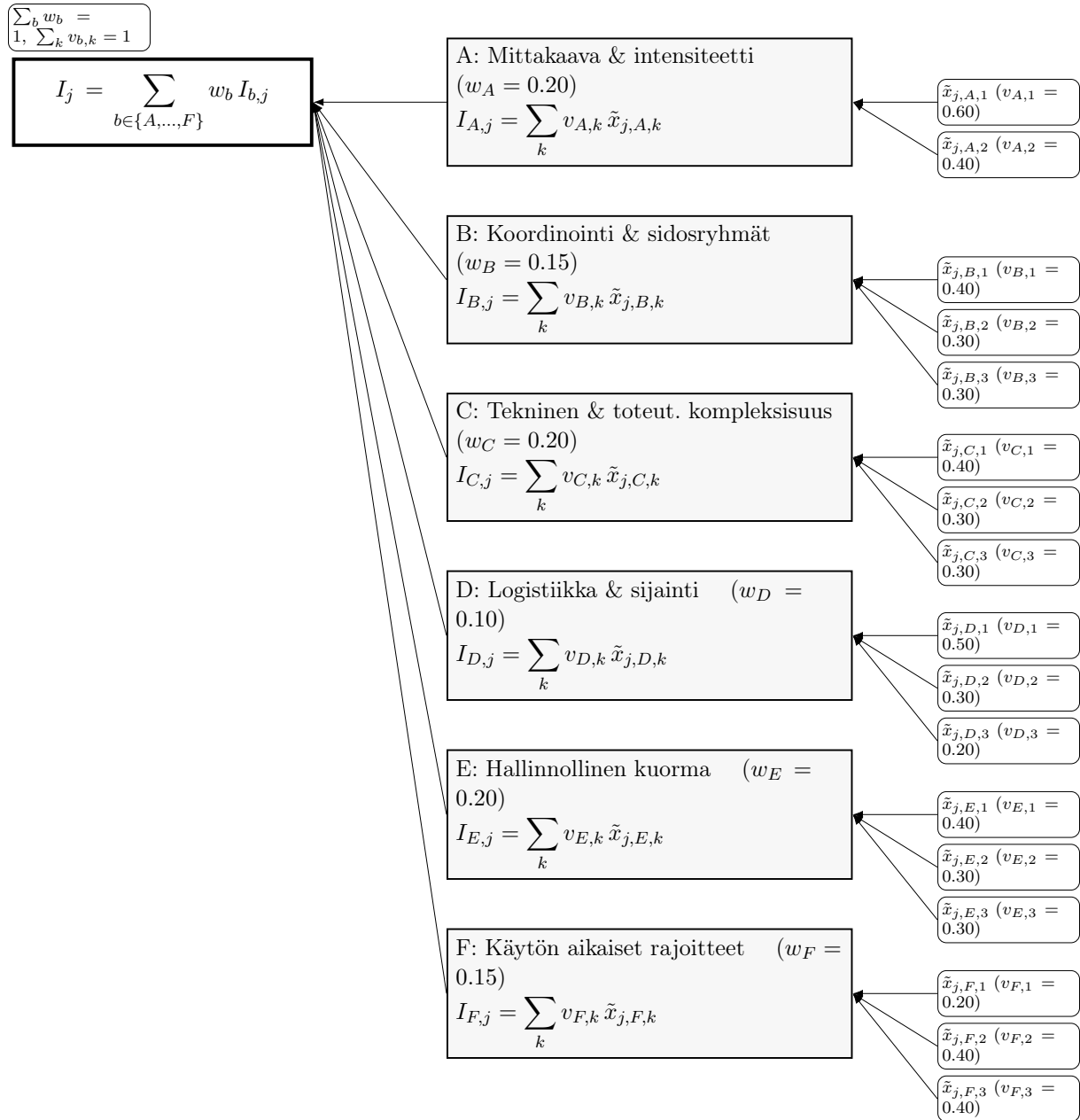
Kori	w_b
A: Mittakaava & intensiteetti	0,20
B: Koordinointi & sidosryhmät	0,15
C: Tekninen & toteut. kompleksisuus	0,20
D: Logistiikka & sijainti	0,10
E: Hallinnollinen kuorma	0,20
F: Käytön aikaiset rajoitteet	0,15

Taulukko 2: Parametrit koreittain: pitkä nimi, sisäinen paino $v_{b,k}$ ja symboli.

Kori	Parametri (pitkä nimi)	$v_{b,k}$	Symboli
A	Budjetti	0,60	$\tilde{x}_{j,A,1}$
A	Intensiteetti €/vk	0,40	$\tilde{x}_{j,A,2}$
B	Keskimääräinen työntekijöiden lukumäärä	0,40	$\tilde{x}_{j,B,1}$
B	Aliurakoiden lukumäärä	0,30	$\tilde{x}_{j,B,2}$
B	Pakollisten palaverien ja katselmusten lukumäärä kuukaudessa	0,30	$\tilde{x}_{j,B,3}$
C	Talotekninen vaativuus	0,40	$\tilde{x}_{j,C,1}$
C	Suunnitelmien valmiusaste	0,30	$\tilde{x}_{j,C,2}$
C	Erytyissäntelyyn tai viranomaismääräyksiin liittyvä rajoittavuus	0,30	$\tilde{x}_{j,C,3}$
D	Katuluvat edellyttävä työ	0,50	$\tilde{x}_{j,D,1}$
D	Logistinen haastavuus	0,30	$\tilde{x}_{j,D,2}$
D	Etäisyys	0,20	$\tilde{x}_{j,D,3}$
E	Luvanvaraisuus	0,40	$\tilde{x}_{j,E,1}$
E	Turvallisuuspoikkeamien riskitaso	0,30	$\tilde{x}_{j,E,2}$
E	Raportointivelvoitteet	0,30	$\tilde{x}_{j,E,3}$
F	Käytössä oleva kohde	0,20	$\tilde{x}_{j,F,1}$
F	Kohteen käyttö lisää turvallisuuden suunnittelua	0,40	$\tilde{x}_{j,F,2}$
F	Melu- ja muut rajoitteet ajoituksessa	0,40	$\tilde{x}_{j,F,3}$

4 Kuormitusindeksin malli

4.1 Hierarkinen rakenne



Kuva 1: Kuormitusindeksin hierarkia: parametrit \rightarrow korit \rightarrow kokonaisindeksi.

4.2 Parametrien mittausasteikot

Tässä tutkielmassa käytettävät parametrit ja niiden mittausasteikot perustuvat osittain yksiselitteisiin suureisiin, kuten budjettiin tai urakan keston, mutta osittain myös luokitteluihin, jotka nojaavat tutkielman tekijän asiantuntijanäkemykseen. Tutkielman tekijä on toiminut Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos Staran korjausrakentamisen työnjohtotehtävissä vuodesta 2017 lähtien, ja tämän käytännön kokemuksen pohjalta on arvioitu, millä tavoin tietyt tekijät kuormittavat työnjohtoa ja miten niitä voidaan kuvata mittausasteikkojen avulla.

Parametrien mittausasteikot on määritelty niin, että ne mahdollistavat työmaiden keskinäisen vertailun. Osa asteikoista pohjautuu kvantitatiivisiin arvoihin (esimerkiksi budjetti euroina tai työntekijöiden määrä), kun taas toiset ovat kvalitatiivisia luokituksia, joiden tarkoituksena on kuvata ilmiötä, joita ei voida suoraan mitata numeerisesti (esimerkiksi logistinen haastavuus tai suunnitelmien valmiusaste). Näiden luokittelujen avulla on mahdollista tuoda kuormitusta aiheuttavat tekijät systemaattisesti osaksi laskennallista mallia, vaikka mittaustapa ei olisikaan täysin objektiivinen.

Taulukko 3: Parametrien mittausasteikot ja minimiarvot.

Parametri	Symboli	Asteikko / yksikkö
A1 Budjetti	$\tilde{x}_{j,A,1}$	€
A2 Intensiteetti	$\tilde{x}_{j,A,2}$	€/viikko
B1 Työntekijöiden määrä	$\tilde{x}_{j,B,1}$	lukumäärä (arvio, vaihtuvuus huomioiden)
B2 Aliurakoiden määrä	$\tilde{x}_{j,B,2}$	aliurakoitsijayritysten lukumäärä urakan aikana
B3 Palaverit/kk	$\tilde{x}_{j,B,3}$	pakollisten palaverien ja katselmusten lukumäärä kuukaudessa
C1 Talotekninen vaativuus	$\tilde{x}_{j,C,1}$	0=vähäinen, 1=keskim., 2=vaativa, 3=erittäin vaativa
C2 Suunnitelmien valmiusaste	$\tilde{x}_{j,C,2}$	0=toteutussuunnitelmat tehty, 1=vähäisiä muutoksia, 2=paljon muutoksia, 3=ei suunnitelmia / jatkuvat muutokset
C3 Erytyissäätely/viranomaisrajoitavuus	$\tilde{x}_{j,C,3}$	0=ei lainkaan, 1=vähäinen, 2=suuri
D1 Katuluvat	$\tilde{x}_{j,D,1}$	0=ei tarvitse, 1=tarvitsee
D2 Logistinen haastavuus	$\tilde{x}_{j,D,2}$	0=tavanomainen, 1=haasteellinen, 2=erittäin haastava
D3 Etäisyys	$\tilde{x}_{j,D,3}$	0: sijainti < 20 km toimistolta; 1: sijainti ≥ 20 km tai saarella
E1 Luvanvaraisuus	$\tilde{x}_{j,E,1}$	0=ei luvanvarainen, 1=luvanvarainen
E2 Turvallisuuspoikkeamien riski	$\tilde{x}_{j,E,2}$	0=vähäinen, 1=keskitaso, 2=kohonnut, 3=suuri
E3 Raportointivelvoitteet	$\tilde{x}_{j,E,3}$	0=ei lainkaan, 1=vähäiset, 2=paljon
F1 Kohteen käytössäolo	$\tilde{x}_{j,F,1}$	0=ei käytössä, 1=osittain käytössä, 2=jatkuvasti käytössä
F2 Turvallisuussuunnittelun lisäys	$\tilde{x}_{j,F,2}$	0=vähäinen, 1=kohonnut, 2=vaatii dynaamista työaikaista suunnittelua
F3 Melu- ja muut rajoitteet	$\tilde{x}_{j,F,3}$	0=ei rajoitteita, 1=vähäisiä rajoitteita, 2=toteutusta merkittävästi muovaavia rajoitteita

Normalisointi yhden tapaustutkimuksen asetelmassa. Koska tämän tutkielman laskenta perustuu yhteen tapaustyömaahan, min–max-normalisoinnissa käytetään ennalta määritettyjä, asiantuntija-arvioon perustuvia raja-arvoja $x_{b,k}^{\min}$ ja $x_{b,k}^{\max}$. Tällöin normalisoitu arvo on

$$\tilde{x}_{j,b,k} = \frac{g(x_{j,b,k}) - x_{b,k}^{\min}}{x_{b,k}^{\max} - x_{b,k}^{\min}}, \quad \tilde{x}_{j,b,k} \in [0, 1],$$

missä g on mahdollinen esimuunnos (tässä oletuksena identiteetti). Arvot leikataan välille $[0, 1]$ robustisuuden varmistamiseksi. Rajat dokumentoidaan parametrisoitaisesti; niitä voidaan kalibroida uudelleen laajemman aineiston perusteella jatkossa [3].

4.3 Raja-arvot ja muunnokset

Tässä alaluvussa kiinnitetään min–max-normalisoinnissa käytettävät raja-arvot asiantuntija-arviona. Raja-arvot mahdollistavat indeksin laskennan myös yhden työmaan tapauksessa ja ne voidaan kalibroida uudelleen laajemmalla aineistolla jatkotutkimuksissa. Mahdollinen esimuunnos $g(x)$ (esim. $\log(1+x)$ tai \sqrt{x}) käytetään ennen min–max-normalisointia, jos se parantaa kuormituksen kuvaavuutta.

Taulukko 4: Parametrisoitaiset minimi- ja maksimi-arvot, esimuunnos ja perustelu.

Param.	Symboli	Minimi	Maksimi	$g(x)$	Perustelu
A1	$\tilde{x}_{j,A,1}$	10 000	2 000 000	$\log(1+x)$	Log-muunnos tasaa suurten arvojen vaikutusta.
A2	$\tilde{x}_{j,A,2}$	1	100 000	x	Lineaarinen; korkea maksimi kattaa intensiiviset urakat.
B1	$\tilde{x}_{j,B,1}$	2	30	\sqrt{x}	Neliöjuuri vaimentaa suurten miehitysten marginaalia.
B2	$\tilde{x}_{j,B,2}$	1	15	x	Tyypillinen urakoitsijamäärän yläraja.
B3	$\tilde{x}_{j,B,3}$	1	16	x	Vastaa esim. 2–4 viikkopalaveria + katselmukset.
C1	$\tilde{x}_{j,C,1}$	0	3	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
C2	$\tilde{x}_{j,C,2}$	0	3	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
C3	$\tilde{x}_{j,C,3}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
D1	$\tilde{x}_{j,D,1}$	0	1	x	Binääri; suora skaalaus.
D2	$\tilde{x}_{j,D,2}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
D3	$\tilde{x}_{j,D,3}$	0	1	x	Binääri; suora skaalaus.
E1	$\tilde{x}_{j,E,1}$	0	1	x	Binääri; suora skaalaus.
E2	$\tilde{x}_{j,E,2}$	0	3	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
E3	$\tilde{x}_{j,E,3}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
F1	$\tilde{x}_{j,F,1}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
F2	$\tilde{x}_{j,F,2}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.
F3	$\tilde{x}_{j,F,3}$	0	2	x	Ordinaaliasteikko; suora skaalaus.

4.4 Esimerkkilaskelma

Tässä alaluvussa lasketaan indeksi yhdelle toteutuneelle työmaalle käyttäen luvussa 4.3 annettuja raja-arvoja ja muunnoksia. Normalisointi on

$$\tilde{x}_{j,b,k} = \frac{g(x_{j,b,k}) - x_{b,k}^{\min}}{x_{b,k}^{\max} - x_{b,k}^{\min}}, \quad \tilde{x}_{j,b,k} \in [0, 1],$$

minkä jälkeen korikohtaiset arvot ja kokonaisindeksi saadaan kaavoilla

$$I_{b,j} = \sum_k v_{b,k} \tilde{x}_{j,b,k}, \quad I_j = \sum_b w_b I_{b,j}.$$

Taulukko 5: Esimerkkilaskelma: alkuperäiset arvot, muunnokset, normalisoinnit ja korien tulokset.

Kori	Parametri	Arvo	x	$g(x)$	\tilde{x}	$v_{b,k}$
A	A1 Budjetti [€]	373 612	$\log(1+x)$		0.683	0.60
A	A2 Intensiteetti [€/vk]	26 686	x		0.267	0.40
<i>Korin arvo</i> $I_{A,j} = 0.517$						
B	B1 Työntekijöiden määrä	30	\sqrt{x}		1.000	0.40
B	B2 Aliurakoiden määrä	10	x		0.643	0.30
B	B3 Palaverit/kk	3	x		0.133	0.30
<i>Korin arvo</i> $I_{B,j} = 0.633$						
C	C1 Talotekninen vaativuus	1	x		0.333	0.40
C	C2 Suunnitelmien valmius	1	x		0.333	0.30
C	C3 Eriytysääntely	0	x		0.000	0.30
<i>Korin arvo</i> $I_{C,j} = 0.233$						
D	D1 Katuluvat	0	x		0.000	0.50
D	D2 Logistinen haastavuus	0	x		0.000	0.30
D	D3 Etäisyys [km]	0	x		0.000	0.20
<i>Korin arvo</i> $I_{D,j} = 0.000$						
E	E1 Luvanvaraisuus	0	x		0.000	0.40
E	E2 Turvapoikkeamien riski	1	x		0.333	0.30
E	E3 Raportointivelvoitteet	1	x		0.500	0.30
<i>Korin arvo</i> $I_{E,j} = 0.250$						
F	F1 Kohteen käytössäolo	2	x		1.000	0.20
F	F2 Turvallisuussuunnittelu	1	x		0.500	0.40
F	F3 Melu- ja muut rajoitteet	1	x		0.500	0.40
<i>Korin arvo</i> $I_{F,j} = 0.600$						

Koripainoja käyttäen ($w_A = 0,20$, $w_B = 0,15$, $w_C = 0,20$, $w_D = 0,10$, $w_E = 0,20$, $w_F = 0,15$) kokonaisindeksi on

$$I_j = 0,20 \cdot 0,517 + 0,15 \cdot 0,633 + 0,20 \cdot 0,233 + 0,10 \cdot 0,000 + 0,20 \cdot 0,250 + 0,15 \cdot 0,600 = \mathbf{0,385}.$$

5 Tuloksen analysointi

Tässä luvussa analysoidaan esimerkkityömaalle laskettua kuormitusindeksiä. Laskenta perustuu luvussa 4 esitettyyn hierarkkiseen malliin ja luvussa 4.3 määriteltyihin raja-arvoihin sekä muunnoksiin. Esimerkkityömaan kokonaisindeksiksi saatiin $I_j = 0.385$.

5.1 Laskennan kulku

Laskennan vaiheet esitettiin yksityiskohtaisesti luvussa 4.4. Työmaan alkuperäiset parametrit, joille määriteltiin muunnokset ja normalisoinnit on esitetty edellä. Taulukoidut arvot mahdollistivat kunkin korin osuuden $I_{b,j}$ ja edelleen koko työmaan indeksin I_j laskemisen. Menettely on yleistettävissä mille tahansa työmaalle, kun sen parametritiedot asetetaan samoihin rajoihin.

5.2 Tulosten tarkastelu

Esimerkkityömaan kokonaisindeksin $I_j = 0.385$ perusteella voidaan todeta, että kuormittavuus asettuu mittakaavassa melko matalalle tasolle. Tulokseen vaikuttivat erityisesti seuraavat tekijät:

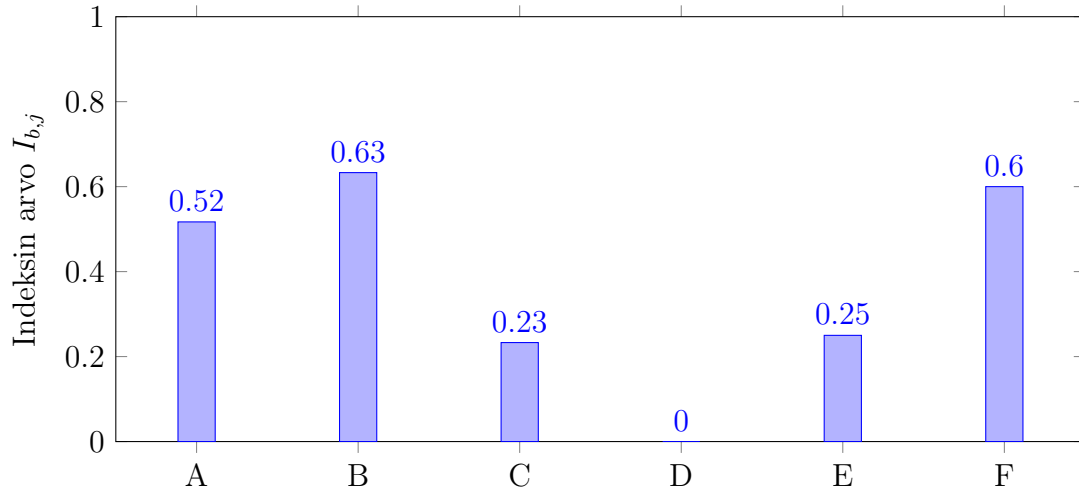
- **A-kori (Mittakaava & intensiteetti):** Indeksi $I_{A,j} = 0.517$ osoittaa, että budjetti ja viikkointensiteetti nostivat kokonaiskuormitusta keskimääräisesti.
- **B-kori (Koordinointi & sidosryhmät):** Indeksi $I_{B,j} = 0.633$ oli korkein, mikä selittyy työntekijämäärällä (30 henkilöä) ja aliurakoiden määrällä (10).
- **C-kori (Tekninen kompleksisuus):** Indeksi $I_{C,j} = 0.233$ jäi matalaksi, koska tekninen vaatavuus oli tavanomainen ja suunnitelmapäivitykset ovat maltilliset.
- **D-kori (Logistiikka & sijainti):** Indeksi $I_{D,j} = 0.000$, sillä työmaalla ei tarvittu katulupia eikä sijainti ollut poikkeava.
- **E-kori (Hallinnollinen kuorma):** Indeksi $I_{E,j} = 0.250$ nousi keskitasolle turvallisuuspoikkeamien ja raportointivelvoitteiden vuoksi.
- **F-kori (Käytön aikaiset rajoitteet):** Indeksi $I_{F,j} = 0.600$ oli korkea, koska kohde on jatkuvasti käytössä ja siihen liittyy turvallisuus- sekä melurajoitteita.

Kokonaisindeksi $I_j = 0.385$ voidaan tulkita käytännön työnkuvaa vasten: jos arvo $I_j = 1$ kuvaisi tilannetta, jossa työmaa olisi niin kuormittava, että työnjohtajan olisi oltava läsnä jatkuvasti, niin esimerkkityömaan arvo 0.385 osuu samaan suuruusluokkaan kuin käytännön työaikajakauma. Kyseinen työmaa vie viikoittaisesta työajasta noin kolmanneksen (0.33), mikä tukee indeksin oikeellisuutta ja antaa sille realistisen tulkintakehyksen.

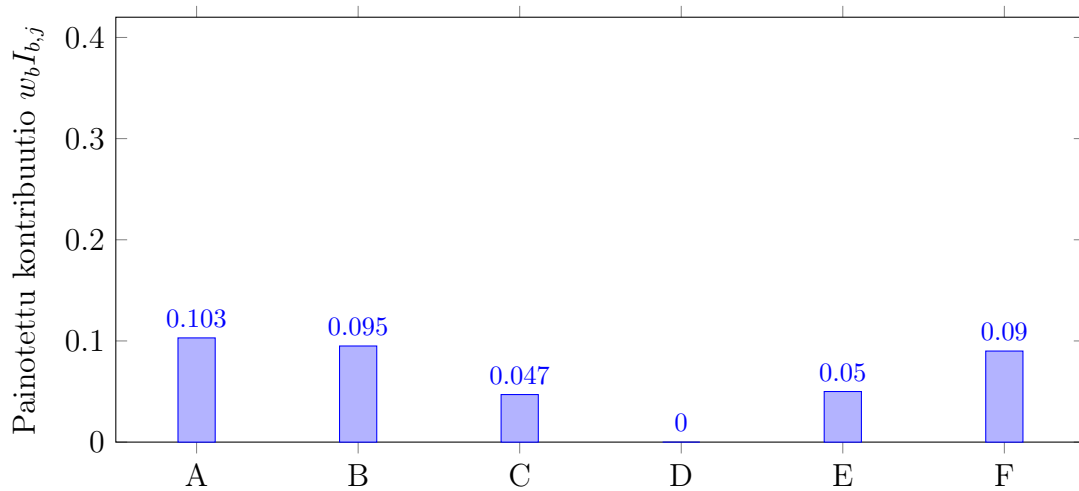
Tulos on linjassa aiemman kirjallisuuden kanssa: rakennusalan työnjohtajien kuormittavuutta lisäävät erityisesti aikataulupaineet, koordinointi ja jatkuva päätöksenteko [1, s. 28–34], ja juuri nämä tekijät näkyvät tässäkin tapauksessa korien B ja F kautta. Toisaalta korjausrakentamisen erityishaasteet, kuten käytön aikaiset rajoitteet ja ennakoimattomat tilanteet, nostavat kuormitusta huomattavasti [2, s. 56–58].

5.3 Havainnollistaminen

Tuloksia voidaan havainnollistaa visuaalisesti kuvaajalla, joka tuo esiin kunkin korin suhteellisen arvon. Tämä tukee tulosten nopeaa tulkintaa ja helpottaa työmaiden välistä vertailua.



Kuva 2: Korikohtaiset indeksiarvot esimerkkityömaalle.



Kuva 3: Korikohtaiset painotetut kontribuutiot $w_b I_{b,j}$. Pylväiden summa on kokonaisindeksi $I_j = 0.385$. Tulos on yhtenevä käytännön työaikajakauman (33 %) kanssa, mikä tukee mallin realistisuutta.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä kandidaatintutkielmassa kehitettiin työmaakohtainen kuormitusindeksi Stara Rakennustekniikan korjausrakentamisen työnjohdon tarpeisiin. Malli koostuu kuudesta korista (A–F), joiden parametrit normalisoidaan min–max-menetelmällä välille $[0, 1]$ ja yhdistetään painotettuna kokonaisindeksiksi I_j . Lähestymistapa on konstrukttiivinen: tavoitteena on tuottaa käytännössä sovellettava, läpinäkyvä ja matemaattisesti johdonmukainen malli työmaiden keskinäiseen vertailuun.

Keskeiset havainnot

- Esimerkkityömaan kokonaisindeksi oli $I_j = 0.385$, mikä vastaa hyvin todellista työkuormaa: kohde kuluttaa viikkotyöajasta noin kolmanneksen (≈ 0.33). Tämä tukee mallin tulkittavuutta ja mittakaavaa.
- Kuormitus jakautui epätasaisesti. Suurimmat kontribuutiot tulivat **B-korista** (koordinointi & sidosryhmät) ja **F-korista** (käytön aikaiset rajoitteet). **D-kori** (logistiikka & sijainti) oli tarkastellussa kohteessa vähäinen.
- Min–max-normalisointi mahdollistaa eri mittayksiköissä olevien parametrien yhdistämisen ja tekee korikohtaisista vaikutuksista vertailtavia ja läpinäkyviä.

Mallin vahvuudet ja rajoitteet

Vahvuudet. (i) Selkeä hierarkia (parametrit \rightarrow korit \rightarrow indeksi) paljastaa kuormituksen lähteet; (ii) tulos skaalautuu arvoihin $[0, 1]$, jolloin tulkinta on suoraviivainen; (iii) parametri- ja koripainot ovat eksplisiittisiä, mikä tukee päätöksenteon läpinäkyvyyttä.

Rajoitteet. (i) Painot ja osa asteikoista perustuvat asiantuntija-arvioon ja voivat sisältää subjektiivisuutta; (ii) raja-arvot (min/max) on kiinnitetty yhden kohteen analyysin mahdollistamiseksi—laajempi aineisto parantaisi kalibrointia; (iii) indeksi kuvaa *työmaakohtaista* kuormaa—työnjohtajan kokonaiskuorma syntyy useiden työmaiden yhdistelmästä ja vaihtelee ajassa; (iv) algoritmin käyttö sellaisenaan resurssien ohjaamisessa on haastavaa \rightarrow käytännön tasolla hyödyttävän mallin kehittäminen vaatii jatkotutkimuksia.

Käytännön suositukset

- Raportoidaan jokaisesta kohteesta sekä kokonaisindeksi I_j että koriprofiili $(I_{A,j}, \dots, I_{F,j})$; kohdennetaan toimenpiteet korkeimpiin koreihin (esim. B: palaverirytytmi ja alihankintakoordinointi; F: käyttö- ja melurajoitteiden huomiointi aikatauluissa).
- Päivitetään min/max-rajat ja painot säännöllisesti kertyvän aineiston perusteella; tarkistetaan vakaus herkkyysanalyysillä (esim. $\pm 10\%$ painomuutokset).

Jatkotutkimus ja pro gradu -suunta

- **Kalibrointi & validointi:** kerätään useampien työmaiden data, kalibroidaan painot ja rajat tilastollisesti, verrataan indeksiä objektiivisiin kuormitusmittareihin (tuntikirjaukset, kalenteridata, kyselyt työnjohdolle).
- **Työnjohtajakohtainen optimointi:** laajennetaan mallia kuvaamaan useiden työmaiden yhdistelmää ja tutkitaan kuormantasausta (resurssien allokointi, vaiheistus, sijaisuusjärjestelyt).

- **Riskiperusteinen komponentti:** lisätään ennakoiva termi (poikkeamien todennäköisyys ja vaikutus) erityisesti F- ja B-koreihin.

Yhteenvetona: esitetty kuormitusindeksi on käyttökelpoinen ja helposti kommunikoitava työkalu työmaiden kuormittavuuden arviointiin. Se tarjoaa läpinäkyvän ja systemaattisen lähtökohdan työmaiden vertailuun ja voi toimia päätöksenteon tukena resurssien ohjauksessa. Kuitenkin käytännön resurssiohjauksen välineenä mallin käyttö sellaisenaan on haastavaa, koska rakennusalan toimintakulttuuriin kuuluu töiden ohjaaminen työnjohdolle nopealla aikataululla ja urakoiden käynnistäminen viivytyksettä. Indeksillä tarjotaan vankan pohjan pro gradu -tason jatkokehitykselle, jossa painot ja raja-arvot voidaan kalibroida dataohjatusti sekä malli laajentaa työnjohtajakohtaiseen optimointiin.

Viitteet

- [1] V. Repo and M. Räsänen. *Työhyvinvointi ja psykososiaaliset kuormitustekijät rakennusalalla – NCC-yhteistyö*. Laurea-ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö, 2020. Saatavilla verkossa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343274/Oppari.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [2] M. Abell. *Viranomaisvalvonta ja korjausrakentaminen: Korjausrakentamisen laadun haasteet*. Metropolia Ammattikorkeakoulu, YAMK-opinnäytetyö, 2018. Saatavilla verkossa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149923/Abell%20Mervi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] J. Han, M. Kamber, and J. Pei. *Data Mining: Concepts and Techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann, 2012.
- [4] T. L. Saaty. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, 1980.
- [5] L. Koskela and G. Ballard. Lean Construction: A New Paradigm for Project Management. In *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 2006.