

# Suunnitteluprosessin haasteiden tunnistus ja ratkaiseminen kouluhankkeissa

---

Lauri Mäki-Petäys

Diplomityö  
2024

---

**Tekijä** Lauri Mäki-Petäys

**Työn nimi** Suunnitteluprosessin haasteiden tunnistus ja ratkaiseminen kouluhankkeissa

**Koulutusohjelma** Diplomi-insinööri

**Pääaine** Building technology

**Vastuuopettaja/valvoja** Prof. Olli Seppänen

**Työn ohjaaja(t)** DI Eelon Lappalainen

**Päivämäärä** 20.05.2024 **Sivumäärä** 61+1

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Kehittämällä kouluhankkeiden suunnitteluprosessia paremmaksi voidaan luoda laadukkaampia suunnitelmia ja koulurakennuksia sekä lyhentää projektiin kuluva aikaa ja kustannuksia. Tämän työn tavoitteena oli kehittää koulurakennusten suunnitteluprosessia tutkimalla ensin nykyistä suunnitteluprosessia ja sen haasteita. Tämän jälkeen selvitettiin, millaisilla ratkaisulla ja menetelmillä näihin haasteisiin voitaisiin vaikuttaa. Lopuksi hahmoteltiin uutta, parempaa suunnitteluprosessia.

Dataa koulurakennuksista ja näiden suunnitteluprosessista kerättiin aluksi kirjallisuuskatsauksella ja sitten työpajoilla. Kerätyn datan avulla jalostettiin työpajoissa luotua uutta suunnitteluprosessia riippuvuusmatriisiksi.

Työssä havaittiin, että nykyisen suunnitteluprosessin tehtävät ovat tiedossa ja että ne on kattavasti dokumentoitu, mutta näiden tehtävien väliset riippuvuus-suhteet eivät ole selkeitä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella löydettiin useita haasteita, joista suunnittelumuutokset katsottiin merkittävimmäksi. Työpajoissa löydettiin monia samoja haasteita kuin kirjallisuuskatsauksessa. Suurin osa haasteista liittyi prosessin- tai projektinhallintaan, mutta myös kommunikaatio-ongelmat olivat yleisiä. Moni työpajoissa esitetyistä ratkaisuksista käsittelee parempaa ajoitusta päätöksenteossa ja suunnittelussa sekä oikeaa tarkkuustason valintaa tehtävästä ja suunnitteluvaiheesta riippuen. Suurin osa työpajassa esitetyistä ratkaisuksista löytyi myös kirjallisuudesta.

Nykyistä ja uutta suunnitteluprosessia rakennettaessa havaittiin, että prosessin luominen on aikaavievä ja työläs prosessi lukuisten eri tehtävien vuoksi, eikä työpajoihin varatulla ajalla ja osallistujamäärällä saada koko kuvaa prosessista. Luotua uutta prosessia jatkokehitettiin muuttamalla se matriisimuotoon ja lisäämällä joitakin puuttuvia riippuvuuksia. Sitten prosessia optimoitiin muuttamalla se riippuvuusmatriisiksi, josta nähdään mm. optimaalinen suoritusjärjestys. Tästä havaittiin myös, että työpajassa luodun uuden suunnitteluprosessin suurimmat haasteet olivat yleissuunnitteluvaiheessa, johon asettui monta toisiinsa linkittyntä tehtävää. Lopuksi suositeltiin, että näitä tehtäviä jaettaisiin useampaan osaan ja näiden tehtävien keskinäistä vuorovaikutusta ja samanaikaista suunnittelua lisättäisiin hukan välttämiseksi.

---

**Avainsanat** Suunnitteluprosessi, koulurakentaminen, riippuvuus, suunnittelun riippuvuusmatriisi

---

---

<b>Author</b>	Lauri Mäki-Petäys	
<b>Title of thesis</b>	Finding and solving design process challenges in school projects	
<b>Programme</b>	M.Sc.	
<b>Major</b>	Building technology	
<b>Thesis supervisor</b>	Prof. Olli Seppänen	
<b>Thesis advisor(s)</b>	M.Sc. Eelon Lappalainen	
<b>Date</b>	<b>Number of pages</b>	<b>Language</b>
20.05.2024	61+1	Finnish

---

### Abstract

By improving the design process of school buildings, we can create better designs, and by extension also better school buildings while decreasing the duration and costs of these projects. The aim of this thesis was to develop the design process of school buildings by first researching the current design process and its challenges. After that, it was determined what kind of solutions and methods could be used to solve these challenges. Finally, a new improved design process was outlined.

Data on school buildings and their design process was first collected through a literature review and then through workshops. With the help of the collected data, the new design process created in the workshops was refined into a dependency matrix.

The thesis found that the tasks of the current planning process are known and that they are comprehensively documented, but the interdependencies between these tasks are not clear. Based on the literature review, several challenges were found, of which design changes were considered the most significant. Many of the same challenges as in the literature review were found in the workshops. Most of the challenges were related to process or project management, but communication problems were also common. Many of the solutions presented in the workshops deal with better timing in decision-making and design, as well as choosing the correct level of accuracy depending on the task and design phase. Most of the solutions presented in the workshop were also found in the literature.

When building the current and new design process, it was found that creating the process is a time-consuming and laborious process due to numerous different tasks, and with the time allocated to the workshops and the number of participants, it is not possible to get a complete picture of the process. The created new design process was further developed by converting it into a matrix format and adding some missing dependencies. Then the design process was optimized by turning it into a dependency matrix, which shows e.g. optimal order of execution. From this it was also found that the biggest challenges of the new design process created in the workshop were in the design development phase, which involved many interconnected tasks. Finally, it was recommended that these tasks be divided into several parts and the mutual interaction and simultaneous planning of these tasks be increased to avoid waste.

---

**Keywords** Design process, school construction, dependency, design structure matrix

---

# Sisällys

1	Johdanto.....	6
1.1	Työn tausta.....	6
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset .....	6
1.3	Tutkimusongelmat, kysymykset ja menetelmät.....	7
2	Kirjallisuuskatsaus suunnittelun nykyprosessista.....	9
2.1	Rakennussuunnittelu lyhyesti .....	9
2.2	Kouluhankkeet ja näiden suunnittelulle yleiset piirteet .....	10
2.3	Suunnittelun haasteet.....	11
2.4	Ratkaisuja haasteisiin .....	14
2.4.1	Kommunikaatioon liittyvät ratkaisut.....	14
2.4.2	Ajanhallintaan liittyvät ratkaisut .....	15
2.4.3	Päätöksentekoon vaikuttavat ratkaisut.....	17
2.4.4	Riippuvuusmatriisin hyödyntäminen .....	18
2.5	Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto .....	22
3	Tutkimusmenetelmät .....	23
4	Tulokset .....	25
4.1	Työpajassa rakennettu suunnittelun nykyprosessi .....	25
4.2	Työpajassa löydetyt haasteet .....	29
4.3	Työpajassa löydetyt ratkaisut .....	32
4.4	Työpajassa rakennettu uusi suunnitteluprosessi .....	34
4.5	Uuden suunnitteluprosessin jalostus riippuvuusmatriisiksi .....	43
5	Johtopäätökset .....	49
5.1	Pohdintoja työpajassa keskustelluista haasteista.....	49
5.2	Ratkaisujen arviointi.....	51
5.3	Pohdintaa uudesta suunnitteluprosessista.....	52
5.4	Tutkimusmenetelmien arviointi ja rajoitteet, mitä opittiin.....	54
6	Yhteenveto .....	56
	Lähteet .....	57
	Liitteet .....	62



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Koulurakennusten suunnittelu on monimutkainen prosessi [1]. Puutteet rakennushankkeiden suunnittelun ohjauksessa vain vahvistavat tästä aiheutuvia ongelmia [2]. Jotta näitä vaativia rakennushankkeita voitaisiin toteuttaa laadukkaasti ja edullisesti, täytyy koko prosessia tehostaa. Myös rakentamisen kustannukset ovat nousseet merkittävästi viime vuosina [3], mikä hankaloittaa tilatarpeisiin vastaamista kaupunkien ja kuntien rajallisella budjetilla.

Suunnitteluprosessista on tehty useita tutkimuksia yleisellä tasolla. Myös esimerkiksi asuinrakennusten suunnitteluprosessia on tutkittu kattavasti. Näiden osalta on jo pitkään ollut tiedossa, että suuri osa rakennuksien vioista johtuu suunnitteluvaiheessa tehdyistä päätöksistä ja toimista. Suunnittelulla on myös suuri vaikutus rakennusvaiheen tehokkuuteen. On todettu, että uudet rakennukset ovat aiempaa monimutkaisempia, mistä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia ja aikataulujen ylittymistä [4] [5]. Tämä on kasvattanut tarvetta suunnitteluprosessin laadun ja ajanhallinnan parantamiselle. [5]

Kouluhankkeiden suunnitteluprosessiin keskittyviä tutkimuksia on tehty hyvin vähän eikä niissä ole eritelty kattavasti kouluhankkeissa korostuvia haasteita. Rakennushankkeiden suunnitteluprosessin tehtävien välisiä riippuvuuksia ei ole myöskään selkeästi dokumentoitu.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tässä diplomityössä tutkitaan kouluhankkeiden suunnittelussa esiintyviä haasteita ja etsitään ja arvioidaan näihin haasteisiin vastaavia ratkaisuja. Tavoitteena on löytää uutta tietoa rakennusten, pääasiassa koulurakennusten, suunnitteluprosessista sekä sen riippuvuuksista, haasteista ja haasteiden ratkaisuista. Tämän tiedon avulla pyritään luomaan uusi, tehokkaampi suunnitteluprosessi. Tehostamalla suunnitteluprosessia voidaan saavuttaa laadukkaampia suunnitelmia ja kustannus- ja ajansäästöä. Tavoitteena on myös keksiä kehitysideoita uusia rakennussuunnittelun tehtäväluetteloita varten. Suunnitteluprosessin hahmottamisessa tullaan hyödyntämään suunnittelun rakennematriisiä (design structure matrix, DSM). Tämä on matriisi, johon merkitään suunnittelun tehtävät ja näiden väliset riippuvuudet. Sen avulla voidaan ryhmitellä ja järjestellä tehtävät järkevämmin, kun riippuvuudet ovat tiedossa. Lähdekirjallisuuden lisäksi työn aineistona käytetään Building 2030-ohjelman työpajoista kerättyä aineistoa. Työpajat esitellään luvussa 3. Työ on rajattu käsittelemään kouluhankkeita.

### 1.3 Tutkimusongelmat, kysymykset ja menetelmät

Kouluhankkeiden ja yleisesti rakennushankkeiden suunnittelussa on monia haasteita [1]. Esimerkiksi suunnittelumuutokset, kommunikaatioon liittyvät haasteet, tehtävien monimutkaisuus ja puutteet aikataulutuksessa ovat haasteita, jotka toistuvat tutkimuskirjallisuudessa [4],[6]. Nimenomaan koulurakennusten suunnitteluun liittyviä haasteita on tutkittu hyvin vähän. Koulurakennuksille asetetut lakisääteiset vaatimukset ja paikalliset suunnitteluohjeet ja -käytännöt on kuitenkin tunnistettu koulusuunnittelun haasteena. Koska koulusuunnittelusta ja sen haasteista on vähemmän tietoa kuin yleisellä tasolla rakennussuunnittelusta ja sen haasteista, pyritään tässä työssä täydentämään tätä tutkimusaukkoa.

Nykyiset tehtäväluettelot listaavat vain tehtäviä, mutta niiden välisiä riippuvuuksia ja tarkempaa toteutusjärjestystä ei esitetä. Eri suunnittelutehtävien lähtötietotarpeiden hahmottaminen voi olla hankalaa, varsinkin jos toinen suunnittelunala vastaa lähtötietona toimivan suunnitelman tuottamisesta toiselle suunnittelunalalle. Asetelmaa hankaloittaa myös rakennussuunnittelussa tarpeellinen iterointi, eli suunnitelmien kehittäminen koko ajan tarkemmiksi ja tavoitteita paremmin vastaaviksi aikaisempien suunnitelmien pohjalta. Muutoksia tulee koko ajan, ja muutos yhden suunnittelunalan suunnitelmissa voi vaikuttaa kaikkiin muihinkin suunnitelmiin. Prosessissa esiintyvää hukkaa on siis paljon. [7]

Nämä kouluille ominaiset haasteet luovat lisäpainetta rakennussuunnittelun jo valmiiksi monimutkaiseen ja epätehokkaaseen prosessiin. Suunnitteluprosessin tehostamista varten tässä työssä pyritään selvittämään todellinen suunnitteluprosessi ja millaisia kehityskohteita tässä prosessissa on.

#### **Työn tutkimuskysymyksiä ovat:**

- 1) Millainen on nykyinen suunnitteluprosessi?
- 2) Mitä haasteita nykyprosessissa ilmenee ja minkälaisilla menetelmillä niiden vaikutusta voidaan vähentää?
- 3) Miten nykyistä suunnitteluprosessia voisi kehittää paremmaksi havaintojen perusteella?

Diplomityössä tutkittiin rakennushankkeiden suunnitteluprosesseja ja niihin liittyviä haasteita ja haasteiden ratkaisuja. Työn erityisenä fokuksena ovat kouluhankkeet. Taustatietoa kerättiin kirjallisuuskatsauksella, ja työpajojen avulla pyrittiin löytämään uutta tietoa suunnitteluprosessista. Tietoa löytyi parhaiten englanninkielisillä hakutermeillä “school construction projects”, “complex school construction project”, “school design projects” ja “design process in school construction”. Tärkeitä teemoja, joita lähdekirjallisuudesta etsittiin, olivat riippuvuussuhteet, koulurakentaminen ja suunnitteluprosessi koulurakentamisessa. Alan suunnittelijoita yhteen

kokoavilla työpajoilla puolestaan selvitettiin, millainen nykyprosessi todellisuudessa on ja mitä haasteita siinä on. Lisäksi haluttiin rakentaa osallistujien näkökulmasta tehokkaampi, haasteisiin vastaava prosessi. Työpajat käsittelivät nykyistä ja uutta suunnitteluprosessia kouluhankkeissa sekä nykyisen prosessin haasteita ja ratkaisuja.

## 2 Kirjallisuuskatsaus suunnittelun nykyprosessista

### 2.1 Rakennussuunnittelu lyhyesti

Tässä osiossa kerrotaan yleisesti suunnittelutyöstä, rakennusten suunnittelusta ja sen vaiheista. Luvussa käsitellään suunnittelutyön prosessin havainnollistamista, suoritusjärjestystä ja sen selvittämiseen käytettäviä menetelmiä sekä suunnittelun tyypillisiä vaiheita rakennushankkeissa.

Suunnittelutyötä voidaan tarkastella kolmen eri konseptin kautta: muutos, virtaus ja arvontuotto. Muutos käsittää lähtötietojen ja tarpeiden muuttamista tuotteen suunnitelmiksi. Tärkeitä periaatteita ovat tehtävien hierarkkisuus ja niiden hallinta. Virtauksessa informaatio liikkuu, muuttuu, odottaa ja sitä tarkastetaan. Hukan minimoiminen, ajan pienentäminen ja epävarmuuden minimointi on tälle konseptille keskeistä. Arvoa tuotetaan, kun asiakkaan tarpeet täyttyvät. Arvontuoton näkökulmasta saavutetun arvon ja parhaan mahdollisimman arvon välistä rakoja tulisi kaventaa sekä tilaajan vaatimuksia analysoida, hallinnoida ja optimoida. [8]

Suunnittelutehtävien hallinnointia ja järjestelyä auttavat työnositus ja kriittisen polun menetelmä. Työnosituksessa työ jaetaan pienempiin osiin luokittelua ja hallinnointia varten. Kriittisen polun menetelmässä selvitetään työn osien riippuvuudet ja asetetaan ne riippuvuuksia vastaavaan järjestykseen [9]. Jos tehtävien suoritus aika on tiedossa, tuloksena voidaan erottaa ne tehtävät, joiden valmistumisnopeus vaikuttaa suoraan koko projektin valmistumisnopeuteen. Suunnittelutyön virtauskonseptiin perustuva riippuvuusmatriisi ”Design structure matrix” (DSM) pyrkii myös tunnistamaan riippuvuussuhteita ja asettamaan tehtävät järjestykseen. Sillä voidaan paremmin ottaa huomioon tehtävien takaisinkytkentöjä eli riippuvuuksia tehtävistä, jotka suoritetaan myöhemmin suunnittelujärjestyksessä. [8]

Kun suunnitelmien toteutusjärjestys tiedetään tai kun tehtäviä halutaan jakaa karkeaan ja tarkempaan suunnitteluun, on suunnittelun vaiheistaminen seuraava vaihe. Rakennusten suunnittelu jaetaan tyypillisesti useaan eri vaiheeseen. Näitä vaiheita ovat ensimmäisestä viimeiseen lueteltuna hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Vaiheet saattavat osittain limittyä. Ennen vaiheita tehtävällä tarveselvityksellä arvioidaan eri vaihtoehtoja tilaajan tarpeiden toteuttamiseksi, ja siitä syntyy päätös hankkeen käynnistämisestä. Lyhyesti tiivistettynä hankesuunnittelussa selvitetään hankkeelle ja suunnittelulle asetetut tavoitteet ja ehdotussuunnittelussa arvioidaan erilaisia suunnitteluratkaisuja. Yleissuunnittelussa puolestaan ehdotussuunnitelmaa kehitetään tasolle, jonka pohjalta voidaan todentaa tavoitteiden saavuttaminen ja budjetissa pysyminen, päättää rakentamisen

aloituksesta ja hakea rakennuslupaa. Toteutussuunnittelussa luodaan rakentamisessa tarvittavat mitoitettut suunnitelmat ja tuotemäärittelyt. [10]

## 2.2 Kouluhankkeet ja näiden suunnittelulle yleiset piirteet

Tässä osiossa kerrotaan kouluhankkeista yleisesti ja millaisia erityispiirteitä koulujen suunnittelussa on yleiseen rakennussuunnitteluun verrattuna. Kouluille tyypillinen urakkamuoto, käyttäjät, tilat ja vaatimukset tuodaan esille. Tässä luvussa käsitellään käyttäjäryhmien tarpeita, käyttäjämäärien vaihtelua, tilojen mitoutusta ja siihen vaikuttavia trendejä, julkisten toimijoiden vaatimuksia ja ohjeita sekä merkittävämpiä erityisvaatimuksia.

Julkisissa rakennuksissa, kuten kouluissa, on usein monia käyttäjäryhmiä, jotka käyttävät tiloja eri tarkoituksiin. Tiloja hyödyntävät eri tavoin esimerkiksi siivoojat, elintarviketyöntekijät, talonmiehet, opettajat, opiskelijat ja harrastusryhmät. Tämä luo useita erilaisia tarpeita, joita tulee huomioida varsinkin suunnittelun alkuvaiheessa. Tästä syystä koulurakennuksen käyttäjiä osallistetaan nykyään suunnittelussa merkittävästi. [11]

Koulut tyhjentyvät lähes täysin kesäaikaan ja talvilomalla, ja koska koulujen toimintaan tarkoitettu budjetti on rajallinen [12], on energiankulutuksen minimoiminen tällä aikavälillä suotavaa. Myös lyhytaikainen käyttäjätiheys on suurta. Kun halutaan huomioida mukavuus ja terveys, lämmityksen, ilmastoinnin ja kosteudenhallinnan suunnitteluun täytyy kiinnittää erityistä huomiota [13]. Vuosikellon mukaisessa suunnittelussa aikatauluihin täytyy sitoutua erityisen hyvin.

Koulujen suunnittelussa tilojen mitoitus on huomionarvoinen asia. Oppilaiden määrä ja eri aineiden osallistumisprosentit ohjaavat luokkakokoja ja määrää sekä muita koulurakennuksen tiloja [14]. Koska näihin voidaan olettaa tehtävän huomattaviakin muutoksia koulurakennuksen elinkaaren aikana, on muuntojoustavuuden tavoittelu suositeltavaa [15]. Se on yksi koulurakentamisessa vallitsevista trendeistä avoimen konseptin koulujen lisäksi [16]. Vallitsevat trendit tuovat uusia haasteita suunnittelulle. Esimerkiksi muuntojoustavuus on usein hankala toteuttaa akustiikasta tinkimättä [17]. Muuntojoustavuuden tavoittelussa voidaan hyödyntää jakoa kiinteään perusosaan ja muuttuvaan tilaosaan, jossa kiinteä perusosa muodostaa kehyksen, jonka ympärille muuttuvat tilaosat suunnitellaan. Suunnittelu voidaan toteuttaa erillisinä kokonaisuuksina, jolloin muutokset suunnitelmissa eivät vaikuta perusosaan. [18]

Kaupunkien vaatimukset koulurakennuksille ja suositukset opiskeluympäristölle vaihtelevat eri kaupungeissa, ja ne voivat muuttua useita kertoja rakennuksen elinkaaren aikana. Eroja voi olla myös valtakunnallisiin suosituksiin. Esimerkiksi WC-istuimia tulisi Oulun suunnitteluohjeen mukaan olla yksi 20 oppilasta kohden, kun

valtakunnallinen suositus on yksi 15 oppilasta kohden [19]. Tästä syystä suunnitteluohjeisiin perehtyminen vie aikaa. Myös opetushallituksen opetussuunnitelma ohjaa koulujen rakentamista. Oppimisympäristön tulisi edesauttaa oppimista, olla turvallinen, ja oppimisympäristön suunnittelussa tulisi ottaa huomioon eri oppiaineiden tarpeet [20]. Suunnitteluvaatimuksien lisääntyessä täytyy suunnittelijoiden käydä läpi yhä enemmän ohjeaineistoa, ja heiltä vaaditaan enemmän kokemusta tehtävistä suoriutumiseksi. Se lisää työmäärää ja kustannuksia. Varsinkin pääkaupunkiseudulla ja suurissa kaupungeissa kaupunkien suunnitteluohjeet voivat olla hyvinkin pitkiä, kun taas pienemmällä paikkakunnilla suunnitteluohjeet voivat olla vain muutaman sivun pituisia oppaita. Helsingissä koulurakennusten suunnitteluohjeet ovat pisimmillään satoja sivuja pitkiä. Samaan tapaan myös rakennuslupaprosessit ovat hankalampia isommissa kaupungeissa. [21]

Koulujen suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon esteettömyys niin sisä- kuin ulkotiloissa. Turvallisuus otetaan huomioon muun muassa liikennesuunnittelussa huoltoliikenteen, oppilaskuljetusten ja saattoliikenteen osalta, jotta liikenne ei kulje oppilaiden käyttämien alueiden välistä. [22] Koulun täytyy olla hyvin saavutettavissa. Käyttäjämäärät ovat suuret, mikä luo haasteita poistumisjärjestelyjen ja paloturvallisuuden suunnittelulle. Niille on myös oppilaitoksissa erityisvaatimuksia. Esimerkiksi opetustiloihin tulisi suunnitella kaksi erillistä uloskäyntiä. Valvonnan helpottamiseksi tulisi suunnitella tiloja, joihin on selkeät näköyhteydet. Rakennukseen tulee myös suunnitella rakennuksen ja ulkoalueet kattava kuulutusjärjestelmä, ja kulun- ja kameravalvontajärjestelmät ovat suositeltavia. Suunnittelun monimutkaisuutta lisää se, että turvatekninen suunnittelu teetetään erityisasiantuntijalla. [23]

## **2.3 Suunnittelun haasteet**

Tässä osiossa tuodaan esille kirjallisuudesta löytyneitä haasteita suunnitteluprosessiin liittyen. Haasteita löytyi rakennussuunnittelun prosessista yleisellä tasolla, ei niinkään juuri koulusuunnittelussa korostuvia ja sille tyypillisiä haasteita. Tässä luvussa käsitellään julkisten rakennusten suunnittelun haasteellisuutta, tilaajan ja käyttäjän tarpeisiin liittyviä haasteita, suunnittelijoiden kykyä ja ajanpuutetta, suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmia, kommunikaatioon liittyviä haasteita, haasteiden keskinäistä merkittävyyttä sekä suunnittelumuutoksia.

Julkiset rakennukset, joiden tilaajana on yleensä kaupunki tai kunta, ovat haasteellisia rakentaa. Tilastollisesti julkisten rakennusten, kuten koulujen, suunnitteluun käytetään kymmenen prosenttia enemmän tunteja kuin alunperin suunnitellaan [24]. Kaikkien rakennusprojektien suunnitteluun käytetään keskimäärin yksi prosentti vähemmän tunteja kuin

suunnitellaan. Tästä voidaan päätellä, että koulurakennusten suunnittelu on keskivertoa haasteellisempaa kuin sen odotetaan olevan.

Suunnittelun tulisi vastata tilaajan ja käyttäjän, kouluhankkeissa siis kaupungin tai kunnan, tarpeisiin. S. Kyrö-Kankaan tekemässä kyselytutkimuksessa todettiin, että asiantuntijat kokivat 25 prosenttia haasteista liittyvän hankaluuksiin vastata käyttäjän tarpeisiin [11]. Tutkimuksessa noin puolet vastaajista kertoi kouluhankkeiden haasteista, ja suurimmaksi ongelmaksi kouluhankkeissa nousi vaatimusten ja kustannusten epätasapaino. Usein suunnittelu ajautuu kauemmas tilaajan ja käyttäjien tavoitteista kuin pitäisi. Tämä johtaa siihen, että osapuolten sitoutuessa ja suunnitteluajan loppuessa hankkeen kustannukset nousevat kohtuuttomasti, jolloin suunnitelmia täytyy karsia. Suunnittelua paremmin palvelevalle kustannuspalauttejärjestelmälle olisi tarvetta varsinkin suunnittelun alkuvaiheessa. [14]

Käyttäjien osallistaminen on hyväksi todettu tapa tarpeisiin vastaavan lopputuloksen saavuttamiseksi, mutta se saattaa myös osaltaan vaatia lisää resursseja ja hidastaa hanketta [11]. Suunnittelijoiden määrä ja käytettävissä olevat työtunnit ovat usein rajalliset. Suunnittelijoiden, varsinkin kokeneiden sellaisten, puute aiheuttaa kiirettä ja puutteita suunnitelmien laadussa. Suunnittelijoiden tuntemus rakennusprosessista on myös tärkeää, mutta koska jopa 75 prosenttia rakennusvaiheen ongelmista syntyy suunnitteluvaiheessa, on tuntemus todennäköisesti riittämätöntä. [25]

Rajalliset suunnitteluresurssit ja niistä aiheutuva kiire johtavat usein suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmiin. Kiire on hyvin yleinen haaste suunnittelussa. Sen syynä ovat yleensä huono suunnittelunohjaus sekä erinäiset muut haasteet, varsinkin päätösten tekemisen viivyttely [26]. Kiireestä aiheutuvat suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmat ilmenevät usein aikataulusta jälkeen jäämisenä, suunnittelun huonona laatuna sekä kustannusten nousuna. Tämä taas johtaa uusiin haasteisiin, kuten esimerkiksi tietomallin tarkkuuden vajavaisuuteen. Suunnitelmat valmistuvat myöhässä tai niistä paljastuu puutteita ja virheitä hankintoja tehdessä tai uutta rakennusvaihetta käynnistettäessä [18] [10]

Ongelmat projektin toimijoiden välisessä kommunikaatiossa saattavat myös johtaa suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmiin, mikäli tieto ei liiku. Asiantuntijaryhmien välinen kommunikaatio on tärkeää suunnitelmien yhteensovittamisessa, ja puutteet kommunikaatiossa tyypillisesti johtavat ongelmiin rakennussuunnittelussa [27]. Sähköpostikommunikointi on yleinen ja selkeä tapa informaation välittämiseen, mutta se koetaan myös hitaaksi ja jäykäksi. Eri projekteihin liittyviä sähköposteja on usein paljon, mikä hankaloittaa tiedon löytämistä. Puheluissa taas pelkillä sanoilla voi olla hankala välittää tietoa, eikä päätetyistä asioista jää kirjallista jälkeä. Taitoihin liittyvät erot luovat myös kommunikaatiohaasteita varsinkin käyttäjien ja suunnittelijoiden välillä, koska esimerkiksi teknisten kuvien ja 3D-mallien ymmärtäminen voi olla haasteellista. [11]

Eri haasteiden tutkimisen lisäksi myös näiden haasteiden keskinäistä merkittävyyttä tulisi arvioida. Y.A. Olawalen ja M. Sunin vuonna 2010 tekemässä tutkimuksessa tutkittiin kyselyllä, miten tärkeiksi rakennusprojektien osallistujat kokivat projekteissa esiintyvät haasteet ajanhallinnan kannalta [4]. Haasteiden tärkeyttä kuvattiin Relative Importance indeksillä (RII) ja tulokset taulukoitiin. Osa haasteista ei liity suunnitteluvaiheeseen, mutta suunnitteluvaiheen haasteet ovat tutkimuksen mukaan tärkeimpien syiden joukossa projektin ajanhallinnan kannalta. Suunnittelumuutokset katsottiin erittäin tärkeäksi syyksi ajanhallinnan ongelmille. Myös projektin keston epätarkka arviointi, tehtävien monimutkaisuus, aliurakoitsijoiden ja toimittajien huono suoriutuminen, projektinjohtajan kokemattomuus, erot sopimusasiakirjoissa, konflikti osapuolten välillä, rahoituksen ongelmat, tulkintaerot sopimuksissa sekä sopivan ohjelmiston puute ovat merkittäviä suunnitteluprosessiin liittyviä haasteita RII-taulukon perusteella. Mitä pidemmällä prosessissa ollaan, sitä suurempia suunnittelumuutosten aiheuttamat haittavaikutukset ovat [28]. [4]

Suunnittelumuutosten merkittävyys luo tarvetta tarkastella tätä haastetta tarkemmin. Suunnittelumuutokset voivat johtua monista syistä. J.L. Burati ym. kokosivat vuonna 1992 tekemässään tutkimuksessa suunnittelumuutoksia aiheuttavia syitä [29]. Näitä voivat olla esimerkiksi:

- 1) Suunnitelmien tarkistus, muutokset ja parannukset
- 2) Suunnitelmista poikkeaminen paremman rakennettavuuden vuoksi
- 3) Suunnitelmat eivät vastaa nykytilannetta kentällä, jolloin suunnitelmista täytyy poiketa
- 4) Tilaajan alullepanemat suunnittelumuutokset
- 5) Muutokset tiloissa suoritettavassa prosessissa
- 6) Toimittajien pyytämät muutokset suunnitelmissa

Ensimmäinen syy on hyvin yleinen ja välttämätön suunnittelumuutos, jota ei voida täysin välttää suunnitteluprosessissa. Toinen ja kolmas syy johtuvat puutteellisista suunnitelmista, joskin kolmatta on varsinkin saneerauskohteissa hankala välttää. Tilaajan alullepanemat suunnittelumuutokset ovat nekin hyvin yleisiä. Niiden haittavaikutuksia voidaan vähentää sopimuksilla. Tilaajalähtöiset suunnittelumuutokset voivat johtua myös siitä, että käyttäjiltä ei saada tarpeeksi ajoissa lähtötietoja [6]. Viides syy on yleinen tehdasrakennuksissa, ei niinkään koulurakennuksissa, ellei opetussuunnitelman muutoksia ja ohjeita esimerkiksi luokkakoosta sovelleta tähän kategoriaan. Kuudes syy saattaa johtua siitä, että toimittajia ei ole konsultoitu riittävän aikaisin suunnitteluprosessissa. [29]

## 2.4 Ratkaisuja haasteisiin

Tässä osiossa esitellään tutkimuskirjallisuudesta löydettyjä ratkaisuja ja hyödyllisiä suunnittelunohjausmenetelmiä suunnitteluprosessin haasteisiin vastaamiseen. Suureen osaan aikaisemmassa osiossa esitetyistä haasteista, esimerkiksi kommunikointiin liittyviin ongelmiin, löydettiin ratkaisuja.

### 2.4.1 Kommunikaatioon liittyvät ratkaisut

Keskinäinen arviointi on metodi, jolla voidaan parantaa rakennussuunnittelun osapuolten, kuten esimerkiksi tilaajan ja rakennuttajan, välistä kommunikointia [30]. Tämä perustuu siihen, että molemmat osapuolet antavat säännöllisin väliajoin arvioita toisistaan. Se auttaa osapuolia parantamaan prosessejaan ja tekemään niistä paremmin yhteensopivia. Perinteisiä tapoja haasteiden ratkomisessa ja yhteistyön parantamisessa ovat suunnittelukokoukset ja suunnittelutyöryhmät, joissa usein neutraali fasilitaattori kirjaa ylös huomioita ja ohjaa keskustelua [11].

Osapuolten välistä yhteistyötä voidaan parantaa myös yhteistoiminnallisella suunnittelulla eli osallistamalla projektin useita eri osapuolia suunnitteluun [2]. Nykyisin jo monissa koulurakentamisprojekteissa on hyödynnetty esimerkiksi rehtorin ja opettajien tietoa osallistamalla heitä suunnitteluun [31]. Jotta tässä vältyttäisiin hankkeen hidastuttamiselta ja suunnitteluresurssien turhalta kulutukselta, kannattaa käyttäjien osallistamista hyödyntää oikeissa vaiheissa ja oikeissa päätöksissä, tyypillisesti heti suunnittelun alkuvaiheessa [32]. Esimerkiksi opettajien tietoa kannattaa hyödyntää tilasuunnittelussa ja toiminnallisissa asioissa, siivoojien ja elintarviketyöntekijöiden tietoa puolestaan pintamateriaalivalinnoissa. Haasteena osallistamisessa saattaa olla se, että käyttäjille voi olla hankala lukea rakennuspiirroksia. Haasteita aiheuttavien tilojen tarkastelussa voi käyttää apuna kevyttä tietomallia eli luonnosmallia, johon käyttäjät saavat kommentoida esimerkiksi luokkahuoneen soveltuvuutta opetukseen [6]. Luonnosmallilla voidaan myös tehokkaasti havainnollistaa, miksi jokin käyttäjän tai tilaajan toiveista on hankala toteuttaa, sekä selvittää kalusteiden tilantarvetta. Sitä ei kuitenkaan käytettäisi suunnittelutyökaluna vaan tukityökaluna, ja sillä mallinnettaisiin vain haasteita aiheuttavien tilojen massoja, jolloin suunnitteluresurssien käyttö pysyy kohtuullisena. Vaikka käyttäjien osallistamista suositellaan suunnittelun alkuvaiheessa, suunnittelun tulisi olla sen verran pitkälle edennyt, että käyttäjille voidaan havainnollistaa kuva siitä, minkälaisesta rakennuksesta on kyse. Tässä vaiheessa voidaan vielä painottaa, että tilaa muutoksille on. Tällöin mainittua luonnosmalliakin voidaan paremmin hyödyntää. [11]

Myös esimerkiksi Big Roomia voidaan käyttää ensisijaisesti kommunikaation haasteiden ratkaisemiseksi. Big Room on

yhteistyömenetelmä, jossa eri alojen suunnittelijat keskustelevat samanaikaisesti yhdessä tilassa projektista ja siinä ilmenneistä ongelmista ja kysymyksistä. Tuomalla eri alan suunnittelijat saman pöydän ääreen saadaan kaikille luotua kokonaiskäsitys hankkeen tilasta, jolloin riski vanhentuneen tiedon pohjalta suunnittelemiselle pienenee. Saman pöydän ääressä osallistujille selviää ajankohtainen tieto muiden työstämistä suunnitelmista, ja kysymyksiin saadaan nopeammin vastaus kuin esimerkiksi sähköpostilla. On hyvä huomioida, että Big Roomin hyödyntäminen edesauttaa suunnitelmien yhteensovittamista, toteutettavuutta, kustannustehokkuutta sekä uudelleensuunnittelun vähentämistä ja suunnittelemista vain tiettyyn pisteeseen asti. Tämä vähentää uudelleensuunnittelun riskiä. [18] [2]

Rakennusosan toimittajien aikaisempi osallistaminen projektinjohtourakassa esimerkiksi tuoteosakaupan avulla kannattaa, koska sillä voidaan lisätä teknistä innovointia ja kehitystä. Tuoteosakaupassa rakennusosan toimittaja vastaa tuotteen suunnittelusta ja suunnitelmien ylläpidosta, valmistuksesta ja asennuksesta. Jotta tuoteosakauppaa voidaan hyödyntää ongelmitta, tulee vastuut olla selkeästi määritetty ja suunnitelmien valmius tulee olla ohjeistettu tarjouspyynnöissä. [10]

Rakennussuunnitteluprosessissa on lukuisia eri riippuvuuksia tehtävien välillä niin suunnittelunalojen sisällä kuin niiden välilläkin. Eri suunnittelijat tyyppillisesti ovat parhaiten tietoisia siitä, mitä suunnitelmia eli lähtötietoja he tarvitsevat työnsä tekemiseksi, mutta eivät välttämättä yhtä tietoisia siitä, ketkä tarvitsevat heidän tuottamiaan suunnitelmia. Roolien selventämisessä voi auttaa esimerkiksi Last Planner (LPS) -systemi, jota voidaan käyttää myös suunnittelu-aikataulun laadinnassa. LPS:n avulla voidaan vaikuttaa kommunikatioon liittyviin haasteisiin [33]. Menetelmän tavoitteena on varmistaa tehtävien aloitusedellytykset ja vaiheiden suunniteltu lopetus. Se tapahtuu vaiheiden toteutumista seuraamalla sekä analysoimalla syitä tehtävien toteutumatta jäämiselle. Osallistajat selvittävät itse omat tehtävänsä, niiden kestot ja tarvittavat lähtötiedot tehtäviensä toteuttamiseksi. Osallistajat kiinnittävät tehtäviään kuvaavat post-it-laput aikataulun mukaiseen järjestykseen, jolloin niistä muodostuu riippuvuusketju. [18], [2]

#### **2.4.2 Ajanhallintaan liittyvät ratkaisut**

Suunnittelumuutokset on merkittävin syy ajan- ja kustannustenhallinnan ongelmiin rakennusprojekteissa [10]. Tilaaja- ja käyttäjälähtöisiä suunnittelumuutoksia voitaisiin vähentää luomalla lähtötieto-aikataulu, josta ilmenee esimerkiksi se, minkä alueen lähtötiedot tarvitaan ensimmäisenä milloinkin. Esimerkiksi lohkotuksesta voi johtua tarve aikaisemmille lähtötiedoille, kun tietyt alueet rakennetaan ensimmäisenä [34]. Teknisesti haastavien suunniteltavien alueiden ja tilojen suunnittelumuutokset ovat

työläitä, joten niihin kannattaa hankkia mahdollisimman tarkat lähtötiedot mahdollisimman aikaisin. Koulurakennuksissa keittiö- ja ruokailutilat ovat tällaisia tiloja suurempien ilmanvaihto- ja sähkötarpeiden sekä vaativien keittiölaitteiden ja niiden asettelun takia. [6]

Suunnittelumuutoksia tulisi korostaa kaikissa suunnitteluun liittyvissä dokumenteissa muutoksiin reagoimisen helpottamiseksi. Suunnittelumuutosten seurausten tarkemmalla määrittelyllä voitaisiin ehkäistä muutoksista aiheutuvia ongelmia, kuten uudelleensuunnittelua ja hukkaa [4]. Rakennushankkeissa muutokset koskevat usein käyttäjistä johtuvia tilaratkaisuja, -jakoa, -varustelua ja talotekniikkaa, ja niiden ilmaantuessa vähitellen projektin aikana suunnitteluprosessi sekoittuu ja suunnitteluratkaisut heikentyvät [10].

Suunnittelun jäädyttäminen sopivin väliajoin on yksi ratkaisu suunnittelumuutosten aiheuttamiin hankaluuksiin. Suunnittelun jäädyttäminen tarkoittaa sitä, että tietyn ajanjakson aikana suunnitelmaan ei tehdä enää muutoksia [35]. Tämä sitouttaa suunnitelmien valmistumiseen aikataulussa.

Päätöksiin liittyviin haasteisiin, kuten päätösten puutteelliseen jäädyttämiseen ja yleiseen prosessin hankaluuteen, voi auttaa päätösaikataulun luominen. Suunnittelun ohjaamisesta vastaava henkilö luo menettelymallin suunnitelmien hyväksymiselle käyttäjän ja rakennuttajan puolesta. Malliin voidaan sisällyttää myös muutosten hallinta ja jäädyttäminen. Hankkeen toteutusmuoto vaikuttaa päätösaikataulun laadintaan. Projektinjohtourakassa suuri osa päätöksistä tehdään vasta rakennustöiden toteutusvaiheessa. [18]

Projektinjohtohankkeissa toteutussuunnittelu ja rakentaminen limittyvät usein ajallisesti. Jakamalla suunnittelu suunnitelmapaketteihin projektinjohtohankkeiden toteutussuunnitteluvaiheessa ja tekemällä katselmuksia suunnittelupaketteihin voidaan mahdollistaa suunnitelmien tehokkaampi koordinointi ja ristiriidattomuus sekä parempi laatu [10]. Näin vähennetään suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmia. Suunnittelupaketit ovat suunnitelmakokonaisuuksia, joiden keskinäiset riippuvuudet ohjaavat päätöksentekoa. Suunnitelmapaketeissa on eri suunnittelualoilta samanaikaisesti valmistuvia toteutussuunnitelmia. Paketit ajoitetaan päätöksenteon ja rakentamisen aikataulun mukaan. Tämä antaa rakennuttajalle aikaa muuttaa valintojaan, mutta myös sitouttaa päätöksentekoaikataulun noudattamiseen. Suunnittelun ohjaus on myös helpompaa, koska suunnittelutyön kasautuminen viime hetkeen vähentyy, ja suunnittelijoiden keskinäinen tiedonvaihto ja yhteistyö tehostuvat. Suunnittelijoille käy selvemmäksi, mitä suunnitelmia tarvitaan ja milloin [10]. Suunnitteluresurssit jakautuvat tasaisemmin ja niiden lisääminen on helppoa, mikä vähentää kiirettä ja siitä johtuvia ongelmia. Suunnitelmapakettien vaiheet luetellaan seuraavaksi. [18]

- 1) Järjestetään suunnitelmapakettien katselmukset
- 2) Suunnittelijat kommentoivat alihankkijoiden tarjoussuunnitelmia
- 3) Tarjoussuunnitelmia kehitetään ja ne hyväksytään tarjousneuvotteluissa
- 4) Hankintavaiheessa täsmentyneet suunnitelmat liitetään alihankintasopimukseen
- 5) Alihankkijoiden rakentamista varten laaditut suunnitelmat hyväksytään
- 6) Tehdään mallikatselmukset
- 7) Tehdään loppupiirustukset

### 2.4.3 Päätöksentekoon vaikuttavat ratkaisut

Tilaaajan tarpeisiin keskittymisessä sekä kustannusylitysten ja tarpeettoman suunnittelun ja karsinnan välttämiseksi auttaa, jos kustannuspalaute annetaan siten, että suunnittelijat itse antavat tavoitteet rakennusosille määrien sitouduttua. Yhdessä projektinjohdon kanssa siitä muodostuu rakennusosan kustannustavoite. Jos havaitaan, että suunnitelmat ovat ohjausalueen ulkopuolella, suunnittelijat voivat muuttaa suunnitelman muotoa tai rakennusosien kustannustavoitteita. Tilaaajan tarpeisiin suunnittelua (TVD) käytetään varsinkin suunnittelun alkuvaiheessa kustannusten arvioimisessa ja suunnittelun ohjaamisessa. TVD eli Target Value Design on projektinhallintomenetelmä, jonka avulla pyritään tavoitearvon saavuttamiseen rakennusprojektissa. Tämä tavoitearvo määritetään yleensä projektin alkuvaiheessa pääasiassa laajuuden perusteella. [14], [36], [2]

Hyötyihin perustuvaa valintamenettelyä (CBA) eli Choosing by Advantages voidaan käyttää päätöksenteossa. Sitä hyödyntämällä voidaan tehdä parempia päätöksiä [37]. Pakolliset kriteerit täyttäviä ratkaisuja vertaillaan keskenään niiden tuottamien hyötyjen perusteella. Osallistujat listaavat ominaisuuksia ja etuja vaihtoehdoista, ja ne asetetaan arvonsa mukaiseen hierarkkiseen järjestykseen. Tuloksista luodaan CBA-taulukko, jonka näkökulmat rikastuttavat päätöksentekoprosessia ja tuovat lisää tietoa ja ymmärrystä osallistujille. CBA-taulukkoa voidaan hyödyntää myös muissa hankkeissa. Jotta CBA-menetelmästä hyödyttäisiin mahdollisimman paljon, tulisi monen suunnitteluun osallistuvan toimijan saada äänensä kuuluviin, jotta kaikki näkökulmat tulevat huomioiduiksi. Lopuksi vertailun jälkeen tehtävää päätöstä kyseenalaistetaan ja sen vaikutuksia hankkeeseen ja rakennukseen arvioidaan. CBA:lla voidaan vastata päätöksentekoon liittyviin ongelmiin. Valitsemalla heti parhaat vaihtoehdot välttämään uudelleensuunnittelulta. Prosessin kuvaaminen esitellään seuraavaksi. [18]

- 1) Tunnista vaihtoehdot
- 2) Määritä tekijät
- 3) Määritä pakolliset/halutut kriteerit kullekin tekijälle
- 4) Kuvaile kunkin vaihtoehdon ominaisuudet
- 5) Päätä kunkin vaihtoehdon edut
- 6) Päätä kunkin edun tärkeys
- 7) Arvioi kustannukset

Rinnakkaissuunnittelussa (Set-based design) nimensä mukaisesti suunnitellaan samanaikaisesti eri suunnitteluvaihtoehtoja, joita karsitaan vaatimusten täydentyessä ja suunnittelun edetessä. Tutkimusten mukaan tällä suunnittelumenetelmällä voidaan vaikuttaa erityisesti päätöksentekoprosessiin lisäämällä läpinäkyvyyttä sekä parantamalla päätöksenteon yhteistyötä ja kommunikaatiota yleisesti. Myös suunnittelun lopputulos on tutkimusten mukaan parempi ja uudelleensuunnittelun tarve vähäisempi. Rinnakkaissuunnittelulla voidaan siis vastata moneen suunnitteluprosessin haasteeseen, mutta sen omaksuminen ei ole helppoa. Organisaation rakenne vaikuttaa siihen, miten helposti rinnakkaissuunnittelua voidaan soveltaa. Jos aliurakointia käytetään suunnittelussa paljon, tulee myös näiden toimijoiden omaksua rinnakkaissuunnittelu suunnitteluprosessissaan, mikä ei ole helppo tehtävä. Myös kokemuksen puute menetelmästä, muutosvastarinta ja määrällisesti lisääntynyt suunnittelun tarve luovat haasteita. Menetelmän on todettu sopivan parhaiten toteutettavaksi yhdessä CBA:n, TVD:n ja tietomallintamisen kanssa [37]. [38]

#### **2.4.4 Riippuvuusmatriisin hyödyntäminen**

Riippuvuusmatriisi eli DSM on työkalu, jolla voidaan matriisimuodossa esittää projektin eri osien väliset riippuvuudet. Matriisista nähdään, mitä tietoa tarvitaan tehtävän aloittamiseksi ja missä järjestyksessä tehtävät voidaan suorittaa. Sillä voidaan hallinnoida monimutkaisia projekteja ja järjestellä tehtäviä. Riippuvuusmatriisin rivit ja sarakkeet vastaavat toisiaan, ja diagonaali on yleensä värjätty, sillä se ei kerro tehtävien välisiä riippuvuuksia. [39]

Yksi tapa havainnollistaa suunnitteluprosessia on tarkastella sen tuotoksia eli rakennuspiirustuksia. Rakennuspiirustusten välille voidaan olettaa riippuvuussuhteita. V. Senthilkumarin ja K. Varghesen vuonna 2009 tekemässä tutkimuksessa näistä suunnittelussa tehtävistä rakennuspiirustuksista on tehty suunnittelun riippuvuusmatriisi (DSM) (ks. Kuva 1) [40]. Esimerkki on lentokentän palvelurakennuksesta. Tässä DSM:ssä riippuvuudet on merkitty kahdenlaisilla merkeillä, X:llä ja O:lla. Merkki X tarkoittaa tiimien välisiä ja merkki O tiimien sisäisiä riippuvuuksia.

Kuten kuvasta nähdään, on rakennussuunnittelussa tuotettavien suunnitelmien välillä lukuisia toisiinsa kytkeytyneitä riippuvuuksia.

Tässä esimerkissä riippuvuuden vaikutussuunta on merkitty siten, että tehtäväriviä tarkastellessa rivin soluun lisätty merkki kertoo, miltä solun sarakkeen tehtävältä rivin tehtävä saa lähtötietoja. Kuvan 1 mukaan esimerkiksi korkeuskuvat (tehtävät 4-6) saavat lähtötietoja pohjakuvulta (tehtävä 3). Joissakin riippuvuusmatriiseissa riippuvuuden vaikutussuunta on merkitty päinvastaisessa järjestyksessä, jolloin riville tehty merkki kuvaa sitä, mille tehtävälle rivin tehtävä antaa lähtötietoja. Tehtävien oletettu suoritusjärjestys on ylhäältä alas. Tehtävät, joilla on merkintöjä diagonaalin alla, ovat riippuvaisia aiemmin suoritettavista tehtävistä, ja tehtävät, joilla on merkintöjä diagonaalin yllä, ovat riippuvaisia tehtävistä, jotka ovat oletetussa suoritusjärjestyksessä seuraavia. Käytännössä tämä ratkaistaan joko tekemällä oletuksia tulevien tehtävien tuotoksista tai samanaikaisella tiiviin yhteistyön suorittamisella. Oletuksilla on riski osoittautua virheellisiksi, mikä luo uudelleensuunnittelun tarvetta. Jotta suoritusjärjestys olisi mahdollisimman tehokas, tulisi mahdollisimman suuri osa tehtävistä olla järjestetty siten, että suurin osa merkinnöistä on diagonaalin alla, jolloin riippuvuuksia myöhemmin suoritettaviin tehtäviin on vähemmän. [18]

Kuvan 1 matriisin optimoinnin tulos on kuvassa 2, jossa riippuvuusmerkinnät on pyritty siirtämään lähelle diagonaalia ja alavasemmalle. Näin tekemällä saadaan matriisi järjestettyä siten, että ylhäältä alas luettaessa nähdään optimaalisin suoritusjärjestys. Sillä minimoidaan tehtävät, jotka vaatisivat tietoja myöhemmin suoritettavalta tehtävältä. Esimerkiksi sokkelipalkkien detaljointi on siirtynyt oletetusta suunnitteluprosessin alkupäästä loppupäähän, koska muut tehtävät eivät ole vahvasti riippuvaisia siitä. Kun näin toimitaan, iteraation tarvetta saadaan vähennettyä, koska oletuksia tulevien tehtävien tuotoksista ei tarvitse tehdä yhtä paljon. Osassa tehtävistä on kuitenkin niin paljon kytköksiä muihin tehtäviin, ettei niitä saada yksinkertaiseen kronologiseen järjestykseen, jossa takaisinkytkentöjä ei ilmenisi. Näistä tehtävistä muodostetaan suunnittelukokonaisuuksia, joita tehdään tehostetussa yhteistyössä. Kuvassa 2 on artikkelissa esitetty tapa järjestellä tehtävät ja luoda kolme syvän yhteistyön ryhmää. Ryhmät ovat vielä erittäin suuria, joten tilaa laajemmalle jaottelulle ja matriisin työstämiselle on. Artikkelin nopeassa, rakennusvaihevetoisessa suunnittelussa tämä jaottelutaso katsottiin parhaimmaksi.





## 2.5 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin, että suunnittelutyötä voidaan tarkastella informaation muutoksen, virtauksen ja arvontuoton kautta. Suunnittelu jaetaan yleensä osiin. Rakennusprojekteissa jaottelu koostuu hanke-, ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnittelusta. Koulurakentamisen erityispiirteitä olivat suuri käyttäjäryhmien kirjo ja niiden tarpeet, käyttäjämäärien vaihtelu, julkisten toimijoiden vaihtelevat vaatimukset sekä suunnitteluun vaikuttavat ohjeet ja trendit.

Keskeisimmät kirjallisuudesta löytyneet haasteet liittyivät tilaajan ja käyttäjän tarpeisiin, suunnittelijoiden kykyyn ja saatavuuteen, suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmiin, kommunikaatioon, suunnittelumuutoksiin sekä aikataulutukseen. Suunnittelumuutokset todettiin merkittäväksi haasteeksi, kuten myös aikataulutukseen liittyvät puutteet. Haasteisiin vastaavat ratkaisut havaittiin vaikuttavan kommunikaation, päätöksenteon ja ajanhallinnan kautta.

Katsauksessa selvitetty erityispiirteet koulurakennusten suunnittelusta sekä suunnittelusta yleensä auttavat kokonaiskuvan havainnollistamisessa. Koulurakennuksiin kohdistettuja haasteita ja ratkaisuja löytyi niukasti, mutta löydetyt rakennussuunnittelun haasteet ja ratkaisut ovat yleistettävissä myös koulurakennuksiin. Kerätty tieto tukee tässä tutkimustyössä kerättävää tietoa koulurakennusten suunnitteluprosessista ja auttaa osaltaan työn tavoitteen saavuttamista eli koulurakennusten suunnitteluprosessin kehittämistä.

### 3 Tutkimusmenetelmät

Seuraavaksi kerrotaan, millaisilla menetelmillä tietoa hankittiin ja jalostettiin. Kirjallisuuskatsaus oli tärkeä tiedonlähde työpajoista saadun tiedon täydentämisessä. Työpajoilla pyrittiin keräämään uutta tietoa suunnitteluprosessista. Riippuvuusmatriisin luomisella ja optimoinnilla hankittua tietoa pyrittiin jalostamaan.

Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkittiin nykyistä suunnitteluprosessia, sen toteutumista ja siinä esiintyviä haasteita sekä mahdollisia ratkaisuja näihin haasteisiin. Tiedonhankinnan välineinä käytettiin pääasiassa Google Scholaria ja Scopusta sekä muutamia kirjallisia teoksia. Hakuehtoina käytettiin avainsanoja ”suunnittelu”, ”rakennus”, ”koulurakennus”, ”projektinjohtourakka” ja ”riippuvuudet”. Työssä hyödynnettiin pääasiassa 2000-luvun jälkeen tehtyjä teoksia ja tutkimuksia, jotta tieto olisi mahdollisimman ajantasaista. Erityisen hyödylliseksi osoittautui teos Rakennushankkeen suunnittelun ohjaus vuodelta 2023, jossa on esitelty useita haasteisiin vastaavia suunnittelunohjausmenetelmiä. Työssä on hyödynnetty viidestäkymmenestä luetusta teoksesta noin kahta- tai kolmeakymmentä.

Työpajat järjestettiin yliopiston tiloissa Building 2030 -projektin yhteydessä. Työpajoja järjestettiin neljä kappaletta, ja niiden tarkemmat tiedot näkyvät taulukossa 1. Työpajoihin osallistui keskimäärin noin 10-20 henkilöä eri suunnittelunaloilta, pääasiassa talotekniikan ja rakennesuunnittelun puolelta. Kaikissa työpajoissa osallistujia ohjeistettiin käsittelemään koulurakennusten yleis- ja toteutussuunnittelua. Arkkitehtejä ei osallistunut työpajoihin, mutta muut osallistujat pyrkivät kokemuksensa avulla täydentämään arkkitehdin tehtäviä. Osallistujat rakensivat ryhmissä nykyisen suunnitteluprosessin, toivat esiin siinä esiintyviä haasteita, keksivät niihin yhdessä ratkaisuja ja ideoivat yhdessä uudenlaista suunnitteluprosessia fläppitaulun avulla. Fläppitauluun lisättiin tehtäviä post-it-lapuilla, ja tehtävien välisiä riippuvuuksia merkittiin nuolilla. Jokaisen työpajan päätteeksi tuloksia purettiin yhdessä. Asetelma oli siis hyvin Big Roomin, suunnittelunohjauksessa usein hyödynnetyn yhteistyömenetelmän, kaltainen. Big Roomin tavoite on luoda yhteisymmärrystä suunnittelualojen välille ja ratkaista ongelmia [18].

Osa asiantuntijoista osallistui työpajoihin etänä Teamsin välityksellä. He hyödynsivät virtuaalista fläppitaulua. Osa osallistui paikan päällä käyttäen fyysistä fläppitaulua. Paikan päällä tehdyt fläppitaulut valokuvattiin ja digitoitiin Miro-sovellukseen, jossa myös suurin osa tulosten jatkojalostuksesta, kuten haasteiden ryhmittelystä, tehtiin.

Taulukko 1. Aineiston keräämiseksi järjestetyt työpajat

Työpaja	Teema	Valmistelu	Jälkityöstö
1	Nykyprosessi ja haasteet	Tavoitteet ja suunnittelu, paperialusta, post-it laput	Tulosten purku, digitointi, haasteiden ryhmittely
2	Haasteiden ratkaisut	Tavoitteet ja suunnittelu, edellisen prosessin tulos, post-it laput	Tulosten purku, digitointi
3	Uusi suunnitteluprosessi	Tavoitteet ja suunnittelu, YTV tehtäväluetteloiden tulostus	Tulosten purku, digitointi
4	Uusi suunnitteluprosessi	Tavoitteet ja suunnittelu, edellisen prosessin tulos, post-it laput	Tulosten purku, digitointi, riippuvuuksien täydennys, DSM luonti

Digitoitua uutta suunnitteluprosessia jalostettiin Excel-tiedostossa muuttamalla tehtävät ja riippuvuudet matriisimuotoon. Riippuvuudet on merkitty "x"-kirjaimella. Jalostusta tehtiin lisäämällä riippuvuuksia kirjallisuuden avulla. "a"-kirjaimella merkittiin looginen riippuvuussuhde, jonka mukaan toiminnon karkea suunnittelu täytyy tehdä ennen detaljitason suunnittelua.

## 4 Tulokset

### 4.1 Työpajassa rakennettu suunnittelun nykyprosessi

Tässä osiossa esitellään työpajoissa luodut kuvaukset nykyisestä suunnitteluprosessista. Prosessin haasteista kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2.

Ensimmäisessä työpajassa kouluryhmiä oli kolme, joista ryhmä kaksi toimi etänä hyödyntäen virtuaalista Flinga-fläppitauluohjelmaa. Osallistujia oli noin kymmenen ryhmää kohden. Ryhmät yksi ja kolme toimivat paikan päällä, liimaten post-it -lappuja paperialustalle, ja tulokset digitoitiin eli siirrettiin sähköiseen muotoon Miro-alustalle visuaalista muokkausta varten. Osallistujia pyydettiin rakentamaan suunnittelun nykyprosessi sellaisena kuin he kokevat sen nykytilanteessa toimivan. Ryhmien osallistujat saivat itse päättää, millä tyylillä prosessi kannattaa rakentaa. Lisäksi ryhmien osallistujat miettivät suunnitteluprosessin haasteita, joita he joko listasivat tai lisäsivät post-it-lapuilla rakennetun prosessin eri vaiheisiin. Ryhmien yksi ja kolme rakentamista prosesseista tuli hyvin samantyyppiset (kuvat 3 ja 5). Etäryhmän (ryhmä kaksi) prosessin rakenne poikkesi näistä (kuva 4). Kuvat ovat digitoituja ja visuaalisesti tiivistettyjä versioita luoduista prosesseista, itse tekstejä ei ole muokattu.

Ryhmät yksi ja kolme rakensivat prosessin, jossa tehtävät on jaettu suunnittelunaloittain ja asetettu aikajanelle. Aikajanaan on merkitty hankesuunnittelu, ehdotus/yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu ja rakentaminen. Ryhmän kaksi rakentama prosessi jäi hajanaisemmaksi. Valitettavasti puutteellisen fasilitoinnin takia riippuvuuksien merkintä tehtävien välille jäi kaikissa ryhmissä puutteelliseksi, mikä rajoittaa tulosten hyödynnettävyyttä. Tärkeitä nostoja näistä tuloksista suunnitteluprosessin sujumuuden kannalta ovat esimerkiksi suunnitelmien yhteensovittaminen, aikataulujen tekeminen, tilaohjelman ja tilavarauksien luominen, alakattojen suunnittelu, talotekniikkakuilujen sijaintien ja kokojen suunnittelu sekä suunnittelun jäädyttäminen.

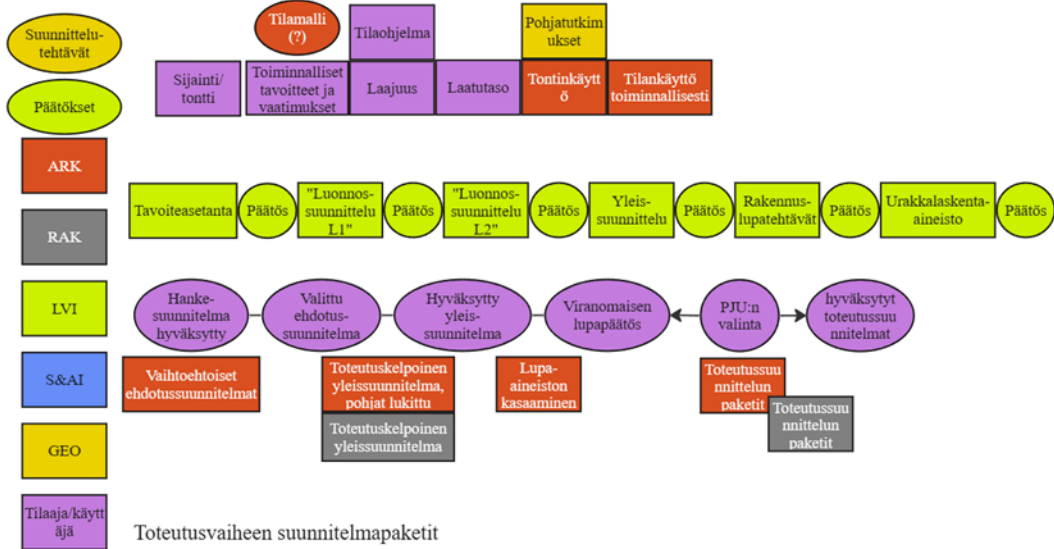
Työpajojen tulosten purkukeskustelussa ilmeni, että ainakin alakattojen ja talotekniikan suunnittelussa on usein uudelleensuunnittelua näiden tehtävien välillä. Myös talotekniikan ja rakennussuunnittelijan tulee tehdä tiivistä yhteistyötä rungon lävistävien läpivientireikien suunnittelussa. Näiden tehtävien ja suunnittelunalojen välillä on siis todennäköisesti riippuvuuksia, vaikka niitä ei työpajassa merkitty.

Myös tehtävät päätökset vaikuttavat olennaisesti suunnitteluun. Työpajoissa mainituista päätöksistä prosessin kannalta tärkeimpiä ovat ainakin päätökset esivalmistuksesta sekä hankkeen aloituksesta ja jatkamisesta kustannusarvioiden pohjalta. Myös suunnitelmien

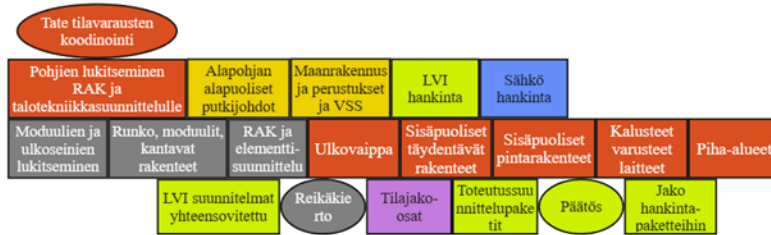


# Kouluryhmä 2 (Flinga)

Hankesuunnittelu ennen urakoitsijan valintaa



Toteutusvaiheen suunnitelmapaketit

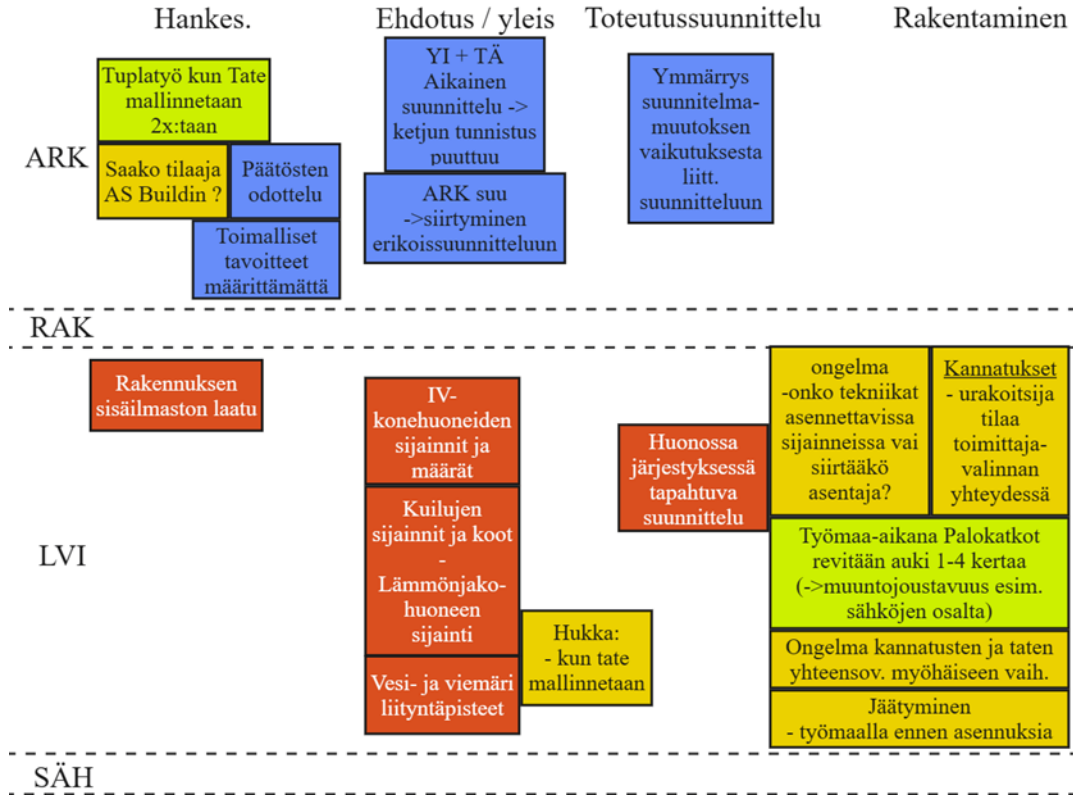


Haasteita

- Suunnitelmapakettien ja hankinnan yhteensovitus
- Tavoitteiden auki kirjaaminen suunnittelun alussa
- Käyttäjän lähtötietojen oikeaikaisuus
- Muutosmenettelyt
- Hankinnan edellyttämä aika (usein muutoksia kustannusylitysten takia)
- Haasteet: tilaaaja /käyttäjän lähtötiedot,
- kompleksinen ja työläs päätöksentekoprosessi, luvitukset, koulujen vuosikello, julkiset hankinnat
- 2D suunnitteluun perustuva ajattelutapa
- Vanhentunut YTV ohjeistus, LVIS
- Sintyy hukkaa jos hankesuunnitteluvaiheen suunnitelma ei kohtaa budjettia ja johtaa uudelleensuunnitteluun
- Käyttäjien päätöksenteon ohjaaminen
- Mielenkiinto ja intressit etenevät eri järjestyksessä käyttäjällä ja rakentajalla

Kuva 4. Ryhmän 2 prosessi ja haasteet

# Kouluryhmä 3



Kuva 5. Ryhmän 3 prosessi ja haasteet

## 4.2 Työpajassa löydetty haasteet

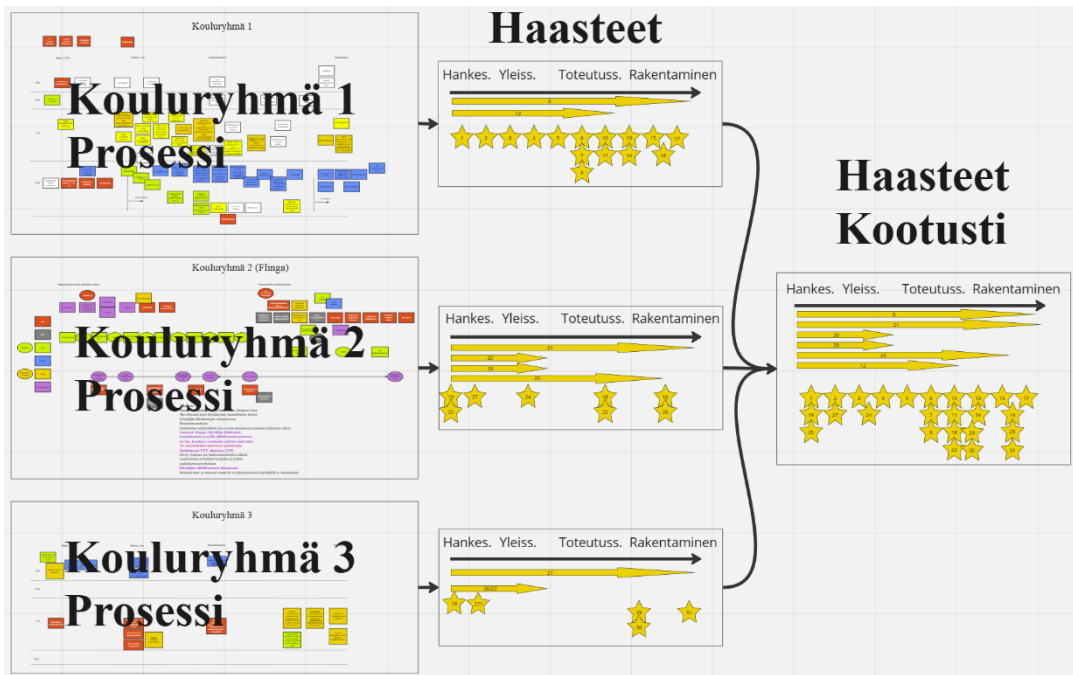
Työpajan osallistujat nostivat esiin useita eri haasteita, joista suurin osa on ollut jo pitkään alalla tiedossa. Nämä haasteet on esitetty taulukossa 2. Suurin osa haasteista vaikuttaa rakennussuunnittelussa yleisesti, mutta esimerkiksi haasteet 5 eli kaupunkien erilaiset suunnitteluohjeet, 24 eli luvituksen haasteet ja 25 eli koulujen vuosikello ovat kouluhankkeissa erityisesti korostuvia haasteita. Ne ovat tärkeitä haasteita nostaa esille, koska niitä on käsitelty hyvin suppeasti tutkimuskirjallisuudessa. Ne ovat siis jossain määrin uutta tietoa.

Työpajoissa ideoituja haasteita pyrittiin sijoittamaan rakennusprojektin aikajanelle hankesuunnittelun ja rakentamisen välille ryhmittäin (kuva 6). Tämän jälkeen ryhmien keräämät haasteet yhdistettiin yhdelle aikajanelle. Nuolilla kuvataan pitempään vaikuttavia haasteita ja tähdillä juuri tietyssä vaiheessa ilmeneviä ongelmia. Yhdistetyn aikajanan haasteet ryhmiteltiin erilaisiin kategorioihin (kuva 7). Haasteisiin sovellettiin kahta erilaista ryhmittelyä. Ylemmässä kuvaajassa haasteet on väreillä ryhmitelty kommunikointiongelmiin, ihmislähtöisiin ongelmiin, projektinhallinnan ongelmiin ja ulkoisiin ongelmiin. Alemmassa kuvaajassa haasteet on väreillä ryhmitelty asiakastarpeisiin ja vaatimuksiin, toteuttajien valintaan ja organisointiin, rakennussuunnitteluun, tuotannonsuunnitteluun ja ohjaukseen sekä hankintaan ja logistiikkaan.

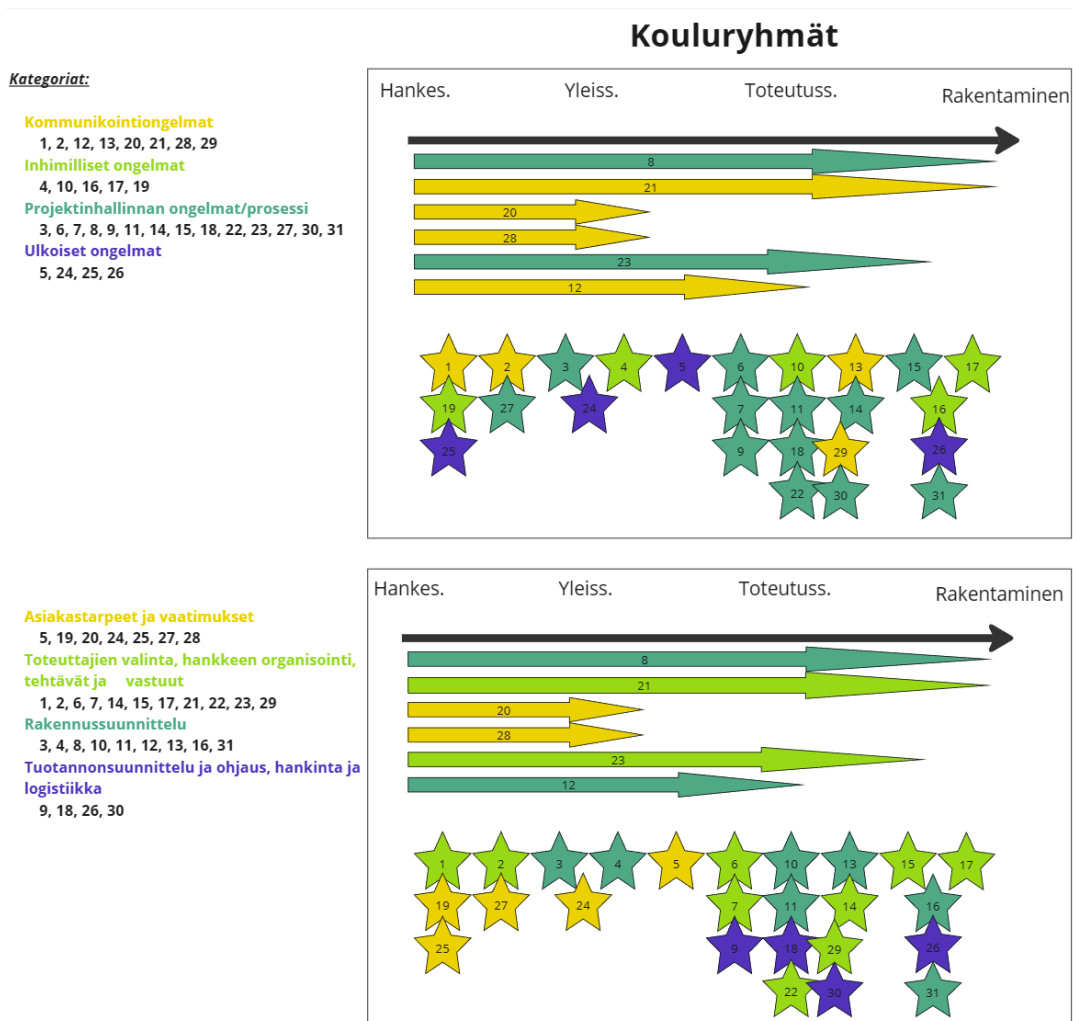
Kuvaajista voidaan nähdä, että haasteet kasautuvat varsinkin projektin loppuvaiheille. Se johtuu lähes yksinomaan projektinhallinnan ongelmien kasautumisesta. Muut ongelmat jakautuvat tasaisemmin. Projektinhallinnan ongelmia on myös paljon enemmän kuin muihin kategorioihin kuuluvia ongelmia. Tästä voidaan päätellä, että nykyinen suunnitteluprosessi kasaa päätöksiä ja näin ollen myös haasteita työn loppuvaiheille, toteutussuunnittelun päätökseen. Projektinhallinnan parantamisella voitaisiin ratkaista suuri määrä erilaisia ongelmia, myös tämänkaltaisia haasteita.

Taulukko 2. Työpajassa löydetyt haasteet.

Numero	Haaste
1	Päätöksenteko vähällä pohjatyöllä
2	Eri konsultit tekevät alustavat tilavaraukset
3	Liian tarkkaa suunnittelua liian aikaisin, esim mallinnus ja yhteensovitus ennen suunnitelmien lukkoon lyömistä
4	TATE suunnittelee liikaa BIM-mallien kautta
5	Eri kaupungeilla eri suunnitteluohjeet
6	Suunnitelmat halutaan mahdollisimman aikaisin, ja päätökset halutaan tehdä mahdollisimman myöhään
7	Kiire
8	Suunnitteluresurssien epätasainen jakautuminen
9	TATE-asennusten huono aikataulutus
10	Mallista puuttuu tukiteräksiä yms
11	Suunnittelun resurssioppiikki
12	Hankes/yleiss. Tilavaraukset ovatkin riittämättömät toteutussuunnitteluvaiheessa
13	TATE-suunnittelu ei tee tarpeeksi asennuskelpoisia alueita
14	Lähtötiedot saadaan myöhässä, silti tehdään yksityiskohtaista suunnittelua liian varhain
15	Kehitysvaiheesta vastuussa olevat vaihtuvat työmaasta vastaaviin työntekijöihin
16	Puutteelliset mallit
17	Päätökset eivät jäädy/jäätyvät liian myöhään
18	Suunnitelmapakettien ja hankinnan yhteensovitus
19	Tavoitteiden auki kirjaaminen
20	Lähtötiedot käyttäjältä eivät tule sopivaan aikaan
21	Muutosmenettelyt
22	Hankinnalle ei ole varattu tarpeeksi aikaa, muutokset
23	Päätöksentekoprosessi on kompleksinen ja työläs
24	Luvituksessa haasteita
25	Koulujen vuosikello
26	Vanhentunut YTV ohjeistus
27	Hankesuunnitteluvaiheen suunnitelma ei kohtaa budjettia, uudelleensuunnittelu
28	Käyttäjien päätöksenteon ohjaaminen
29	Epätieto saako tilaaja As Build-mallin
30	Ei tarpeeksi muuntojoustavuutta rakennuksen aikana [palokatkot revitään auki]
31	Kannatusten ja TATEn yhteensovitus jää myöhäiseksi



Kuva 6. Eri ryhmien keräämien haasteiden asettelu aikajanelle ja yhdistäminen



Kuva 7. Haasteiden ryhmittely ja sijoitus aikajanelle

### 4.3 Työpajassa löydetty ratkaisut

4.4.2023 järjestetyssä työpajassa pyrittiin löytämään ratkaisuja edellisessä työpajassa esitettyihin haasteisiin. Nämä ratkaisut on esitetty taulukossa 3. Ensimmäisessä sarakkeessa oleva numero on ratkaisun numero, keskimmaisessä sarakkeessa on itse ratkaisu ja jälkimmäisessä sarakkeessa on niiden haasteiden numerot, joihin tämä ratkaisu voisi tuoda helpotusta. Listan perusteella moniosaista huojennusta suunnitteluprosessiin voisivat tuoda esimerkiksi suunnittelun jäädyttäminen, mallintaminen päätöksien valmistuttua, tiedonvaihdon aikataulut, aikainen urakoitsijavalinta sekä tehtävuettelun ja YTV:n päivitys ja yhdenmukaistus. Nämä ovat siis ratkaisuja, jotka vastaavat useisiin erilaisiin haasteisiin. Kaikkia kirjallisuuskatsauksessa löytyneitä metodeja ei kuitenkaan työpajoissa mainittu, esimerkiksi vertaisarviointia, rinnakkaissuunnittelua ja TVD:tä.

Työpajassa esitetyt ratkaisut voidaan ryhmitellä kommunikoinnin parantamiseen liittyviin ratkaisuihin (ratkaisut 3, 4, 6, 9, 11, 20, 22),

ajanhallinnan kautta vaikuttaviin ratkaisuihin (ratkaisut 2, 5, 7, 8, 10, 13, 14, 19) sekä mallintamisen kautta vaikuttaviin ratkaisuihin (ratkaisut 1, 17, 15, 18, 21). Lisäksi annettiin päätöksentekoon vaikuttava ratkaisu (12) eli päätöksentekovälineiden, kuten CBA:n, laajempi hyödyntäminen. Myös palokatkoratkaisujen kahtia jakaminen muuntojoustaviin ja -joustamattomiin (16) annettiin ratkaisuksi, mutta se vaikuttaa rakentamisen aikaiseen haasteeseen, ei niinkään itse suunnitteluprosessin haasteisiin, joita tässä tutkielmassa käsitellään.

Työpajassa ehdotettiin useita ajanhallintaan vaikuttavia ratkaisuja. Referenssihankkeiden avulla voidaan ennakoida suunnittelutyöhön tarvittavia resursseja. Kun resurssien tarve tiedetään etukäteen, voidaan tehdä järjestelyjä, joiden avulla resurssipulaa ei synny. Kaksi ratkaisua käsitteli suunnitelmien tuottamista oikeaan aikaan, toisin sanoen suunnitelmien aikatauluttamista. Myös tiedonvaihdon aikatauluttamista ja suunnittelun jäädyttämistä ehdotettiin. Lähtötietomatriisin eli riippuvuusmatriisin hyödyntäminen nostettiin myös esille. Riippuvuusmatriisista nähdään, mitä tietoa tarvitaan tehtävän aloittamiseksi, ja sillä voidaan hallinnoida monimutkaisia projekteja järjestelemällä tehtäviä [39], [40].

Kommunikoinnin kautta vaikuttavia ratkaisuja oli myös paljon. Hankkeen osapuolia, kuten käyttäjiä ja tuotannosuunnittelua, tulisi osallistaa enemmän ja aikaisemmassa vaiheessa suunnittelua. Alkuvaiheessa tehtävää yhteistyötä ja yhteensovitusta tulisi myös lisätä ja suunnittelua tuoda lähemmäs työmaata työmaakäyntien tai työmaalla työskentelevän on-site-suunnittelijan avulla. Suunnittelusopimuksia tehdessä pitäisi tilaajan kanssa keskustelemalla tehdä selväksi, halutaanko as-built, eli lopulliset piirustukset, jotka kuvaavat rakennuksen lopullista tilaa sellaisena kuin se on rakennettu [41]. Last planner -suunnittelunohjausta ehdotettiin myös vastaamaan suunnitelmien jäätymistä koskeviin haasteisiin. Tämä havaittiin myös kirjallisuuskatsauksessa hyödylliseksi menetelmäksi.

Työpajassa ehdotetut tietomallintamista kehittävät ratkaisut auttavat välillisesti myös rakennuksen hahmottamisessa ja suunnitelmien yhteensovittamisessa. Yleisiä tietomallivaatimuksia kehoitettiin päivittämään ja yhdenmukaistamaan tehtäväluetteloiden kanssa. Mallintamiseen ehdotettiin myös vaatimusten lisäämistä. BIM-malleihin tulisi lisätä detaljeja jonkinlaisella korvamerkillä, jolloin mallista voisi nopeasti katsoa, mikä detalji osaan liittyä. Mallintamisen ajoitusta tulisi myös parantaa. Esimerkiksi kannatusten mallinnus tulisi suorittaa heti pääreittien määrittelyn jälkeen, ja yleisesti mallintamista tulisi tehdä vasta kun päätökset on jo tehty.

Taulukko 3. Työpajassa löydetty ratkaisut

Numero	Ratkaisu	Vastaa haasteisiin
1	Tehtäväluettelossa ja YTV:ssä on ristiriitaa näissä -> tehtäväluetteloa ja YTV:tä päivitettävä ja yhdenmukaistettava	3. 26. 4.
2	Yksityiskohtaisempi resursointi referenssihankkeiden avulla [II]	8.
3	Rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee ottaa käyttäjät ajoissa mukaan hankkeeseen jotta lähtötiedot on mahdollista saada ajoissa	20.
4	Aikainen urakoitsijavalinta ilman toteutus suunnittelua	3. 4. 6. 8.
5	Yksityiskohtaiset suunnitelmat tuotannon aikataulun perusteella	3.
6	Tuotannosuunnittelun osallistaminen aikaisemmassa vaiheessa	12.
7	Suunnitelmien tuottaminen tärkeysjärjestyksessä vs. kaikki heti	6.
8	Tilan käyttäjille tai tilaajalle selvä deadline vaatimuksista "sanktio" myöhässä tulevista vaatimuksista	6.
9	Yhteensovitus on aloitettava pääsuunnittelijan johdolla 2D:nä jo ehdotussuun. vaiheessa	31. 16.
10	Suunnittelunalojen tiedonvaihdon aikataulut	9. 7. 11. 18. 20.
11	Last planner suunnittelunohjaus	17. 6.
12	Päätöksentekovälineitä ei käytetä, CBA hyvä, tehdään oman kokemuksen perusteella	1.
13	Lähtötietomatriisi? Level of development ei tunneta, pitäisi implementoida. Tarkemmat sisältömäärittelyt ja aikamäärät. Hankintasuunnitelman ja suunnittelun yhteensovitus. RAK kirjoittaisi mitä tarvitsee missäkin vaiheessa	18.
14	Muutoksien salliminen tiettyyn hetkeen asti, jonka jälkeen ei enää mahdollista	7. 31. 11. 16. 17. 22.
15	Mallinnetaan kannatukset pääreitien määrittelyn jälkeen ja kannatussuunnittelija pysyy mukana tekniikkasijoittelun muutosten aikana	31. 13. 16. 26. 29.
16	Jaetaan palokatkoratkaisut kahtia: a] ei muutoksia b] muuntojoustavat. Mallinnetaan palokatkot MagiCAD pluginilla.	30.
17	BIM-malliin detaljit, menee aikaa kun etsii detaljia ja sijaintia. BIM/detalji-sijainti/detaljit	10.
18	Mallinnus, kun päätökset on lukittu.	9. 1. 4. 16.
19	Asennusaikataulu päivitettävä realistiseksi ja yhteensovitus suunnittelun kanssa	7. 8. 11.
20	Lisää yhteistyötä (yhteensovitusta) alkuvaiheessa. Työmaakäyntien lisääminen tai on-site suunnittelija	4.
21	Mallinnukseen vaatimuksia. Runkovaiheen jälkeen laserkeilaus tms. todellisuuden varmistamiseksi	10.
22	Tämä on huomioitava suunnittelusopimuksissa -> ei epäselvyyttä	29.

#### 4.4 Työpajassa rakennettu uusi suunnitteluprosessi

Uutta suunnitteluprosessia rakennettiin kahdessa työpajassa. Osallistajat kirjoittivat post-it-lapuille suunnitteluprosessin nykyisiä ja uusia tehtäviä, joiden tekemisellä koko prosessia suunnittelusta rakentamiseen voitaisiin sujuvoittaa. Näiden tehtävien välille vedettiin uuden, paremman suunnitteluprosessin mukaisia riippuvuussuhteita nuolilla. Kuvassa 8

nähdään lähiryhmän tuotoksia. Tehtäviä lisättiin hyvin paljon, jolloin myös riippuvuusnuolien luettavuus heikkeni. Tämä vahvisti tarpeen muuttaa tuotokset digitaaliseen muotoon, jonka avulla tulokset voitiin esittää selkeämmin. Digitaalisessa muodossa myös tulosten jatkokäsittely on helpompaa.



Kuva 8. Lähiryhmän rakentamaa uutta suunnitteluprosessia, näkyvissä yleissuunnittelun osuus.

Työpajan lähiosallistujien tuotokset digitoitiin Miro-ohjelmaa hyödyntäen digitaaliselle fläppitaululle (kuva 9). Työpajan tuotosten visuaalinen rakenne ja informaatio pyrittiin säilyttämään sellaisenaan, jotta kerättyä tietoa ei häviäisi. Digitaalisessa muodossa riippuvuusnuolien ja tekstin lukeminen on huomattavasti helpompaa analysointia ja jatkokäsittelyä ajatellen. Digitoinnista ja prosessin visuaalisesta tiivistämisestä huolimatta koko prosessia esitellessä tehtävien teksti jää silti pieneksi varsinkin lähiryhmän työssä, minkä vuoksi tärkeimmät osuudet on esitetty itsenäisesti kuvissa 10-12.

Lähiryhmän työssä suunnitteluprosessin eri aloja kuvataan uimaratamallilla, johon on laitettu tehtäviä aikajärjestyksessä yleis- tai toteutussuunnittelun puolelle. Yleissuunnitteluun on lisätty enemmän tehtäviä ja riippuvuusnuolia. Toteutussuunnittelu jaettiin lähiryhmässä karkeaan ja detaljitason suunnitteluun. Jakamalla tämä vaihe kahteen

tarkkuustasoltaan hyvin eritasoiseen suunnitteluvaiheeseen voitaisiin ehkäistä uudelleensuunnittelua ja siitä johtuvaa hukkaa, jos jakoa hyödynnetään siten, että yksittäiset suunnittelunalat välttävät detaljitason suunnitteluun siirtymistä ennen kuin muut suunnittelunalat ovat saaneet karkean suunnittelun päätökseen.

Eri suunnittelunalojen tilavarausten välillä oli molemminsuuntaisia riippuvuuksia yleissuunnittelun alkuvaiheessa. Nämä ja monet muut tehtävät riippuivat vahvasti kuvassa 10 esitetyistä tilaajan hankeaikataulusta, tilaohjelmasta, tavoitteista ja lähtötiedoista. Nämä tilaajan tehtävien riippuvuudet ovat kuvan 10 mukaisesti pääosin sellaisia, että muut tehtävät saavat lähtötietonsa näiltä tehtäviltä. Kuitenkin käyttäjän lähtötiedot ja arkkitehdin luomat tilaratkaisut vaikuttavat tulosten mukaan tilaajan tehtäviin.

Kuvasta 11 nähdään, että monet sähkösuunnittelun tehtävät yleissuunnitteluvaiheessa tarvitsevat lähtötietoja muilta tehtäviltä, mutta tulosten mukaan ainakaan tämän suunnitteluvaiheen sisällä näiden tehtävien tuotoksia ei tarvita muiden suunnittelualojen tehtävien suorittamiseen. Suurin osa sähkösuunnittelun tehtävien riippuvuuksista on arkkitehtisuunnittelun ja tilaajan tehtävien kanssa. Sähkösuunnittelun johtoteiden tilavarausten suunnittelu on myös riippuvainen LVIA-suunnittelun tehtävistä. Käyttäjää lukuun ottamatta LVIA-suunnittelulla oli riippuvuuksia kaikkien muiden hankkeen osapuolten kanssa. Tilavarauksia lukuun ottamatta arkkitehdin yleissuunnitteluvaiheen tehtävät antavat lähtötietoja, mutta niiden aloitus ei ole riippuvainen muista tehtävistä. Rakennesuunnittelun yleissuunnitteluvaiheen riippuvuuksien täyttö jäi niukaksi, mutta ainakin molemminsuuntainen riippuvuus kantavien rakenteiden sijoittelun ja LVIA-suunnittelun eri tehtävien välillä tunnistettiin. Myös johtotiet tarvitsevat lähtötiedoksi rungon yleissuunnitelmat, mitä varten rungon mitoitus täytyy olla tehtynä.

Lähiryhmän prosessista voitaisiin huomioida vielä yhteistyön korostaminen ainakin suunnittelun lohkojaon määrittämisessä reikäkierrossa sekä mallihuoneiden luomisessa. Suunnittelun lohkojaon määrittelyssä olisivat osallisena kaikki hankkeen osalliset. Reikäkierto voitaisiin käynnistää yhteisellä kokouksella, esimerkiksi kirjallisuuskatsauksessa esiteltyllä Big Room -kokouksella, ja LVIA-suunnittelijat yhdessä arkkitehdin kanssa tekisivät mallihuoneet. Myös kannakointisuunnittelua ehdotettiin kehitettävän toteutussuunnitteluvaiheessa. Tämä tapahtuisi aiheeseen erikoistuneella kannakointisuunnittelijalla, jolla olisi laajempi ymmärrys muiden suunnittelualojen vaikutuksesta kannakointisuunnitteluun.

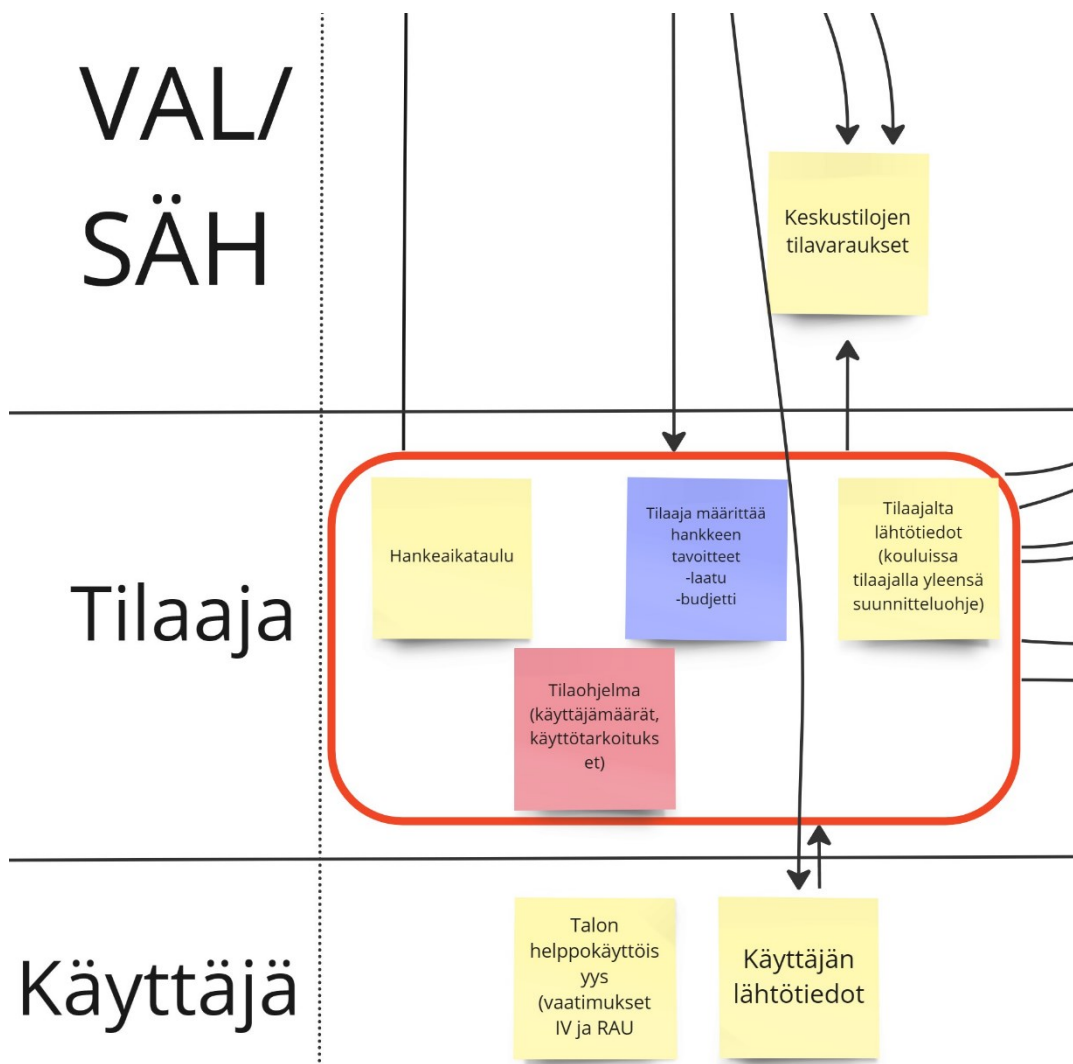
Lähiryhmän prosessin toteutussuunnittelun olennaisimpia riippuvuussuhteita esitellään kuvassa 12. Riippuvuuksia on merkitty runsaasti arkkitehti- ja sähkösuunnittelun tehtäviin, mutta myös projektinjohtourakoitsijan tehtäviin. Suuri osa riippuvuuksista liittyy

mallien päivitykseen ja yhteensovittamiseen. Yleisesti ottaen lähiryhmän uudessa prosessissa on annettu paljon huomiota tietomallintamiselle, mallien yhteensovittamiselle ja reikien suunnittelulle ja mallintamiselle. Aikaisemmassa työpajassa ehdotettu ratkaisu (taulukko 3, ratkaisu n. 17) detaljien lisäämisestä tietomalliin on myös lisätty prosessiin viimeisen mallien yhteensovittamisen jälkeiseksi tehtäväksi. Tämä olisi siis viimeisiä tietomalliin tehtäviä muokkauksia. Kuvasta 12 voidaan havaita, että toteutussuunnitteluvaiheessa poikkeuksellisen moni tehtävien välisistä riippuvuuksista on molemminsuuntainen. Molemminsuuntaisia riippuvuuksia onkin runsaasti koko prosessissa. Näitä suunnittelutehtäviä tulisi tehdä syvässä yhteistyössä samanaikaisesti, ja DSM:ää luotaessa nämä kannattaisi ryhmitellä yhdeksi kokonaisuudeksi.

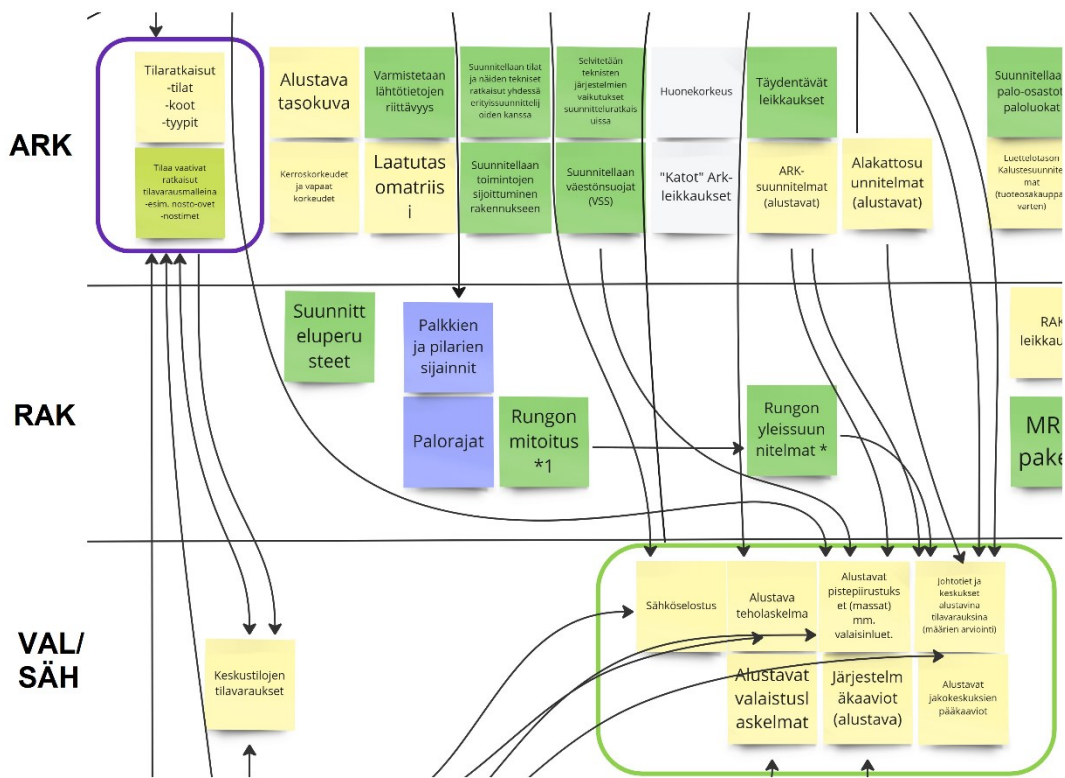
Etätyöpajan rakentama uusi suunnitteluprosessi on esitetty kuvassa 13. Esitetyn prosessin rakenne on hajanaisempi eikä riippuvuuksia ole merkitty kovin kattavasti. Tästä syystä lähiryhmän luomaa prosessia päätettiin käyttää myöhemmin esitettävässä jatkokehityksessä. Työstä nähdään kuitenkin, millaisia toimintatapoja uudessa suunnitteluprosessissa tulisi suosia, vaikka itse prosessia riippuvuuksineen ei ole kunnolla esitetty.

Etätyöryhmä korostaa uudessa suunnitteluprosessissaan tarvetta suunnitelmien ristiintarkistukselle, yhteensovittamiselle ja vertailulle. Suunnitteluosapuolet veloitettaisiin tutustumaan toistensa suunnitelmiin, vertailemaan näitä omiinsa ja raportoimaan ongelmista. Tämä olisi edellytys suunnitelmien yhteensovittamiselle, jota voitaisiin tehdä yhteisessä yhteensovituspalaverissa. Myös etäryhmä nosti esille tarpeen kannakointisuunnittelun kehittämisestä lähiryhmän tavoin. Etäryhmässä kiinteän perusosan ja muuttuvan tilaosan konsepti sai erityistä huomiota. Myös esivalmisteiden käytön lisäämistä suositeltiin. Tarkkustason hallinnassa voisi työpajan osallistujien mukaan käyttää pohjana esimerkiksi valmistuksen ja suunnittelun materiaaliluetteloita. Kirjallisuuskatsauksessa esitellyn kirjallisuuden tavoin myös etäryhmä suosittelee vakioinnin lisäämistä. Vakiointia voitaisiin tehdä ainakin tuotetiedoissa, luokittelutiedoissa, prosessitiedoissa, osapuolten välisessä tiedonvaihdossa ja -välitystavassa sekä esityksissä ja visualisoinneissa. Ennen toteutussuunnitelmien kirjallista hyväksyntää verrataan suunnitelmia asetettuihin tavoitteisiin, raportoidaan poikkeamista ja näiden syistä sekä tehdään sisäistä laadunvarmistusta. Työmaan käynnistyttyä hyödynnettäisiin automaattista mittausta suunnittelussa. Etätyöryhmä lisäsi huomion, että luodussa prosessissa suunnittelijan rooli on suurempi johtuen tarkemmasta suunnittelusta, toleranssien suunnittelusta ja aktiivisemmasta poikkeamiin puuttumisesta.

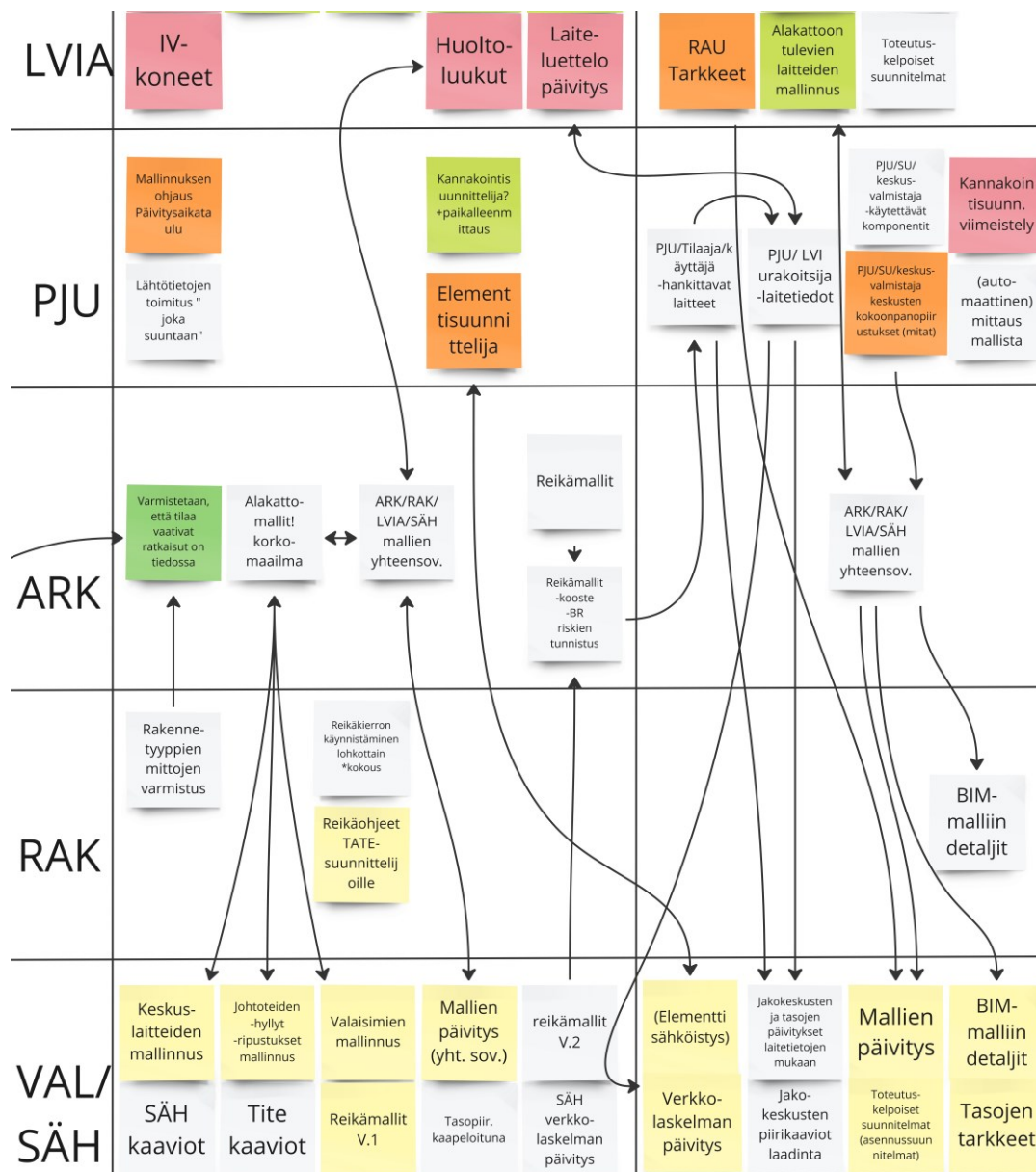




Kuva 10. Tilaajalta hankkeen alussa saatavia tietoja ja näiden riippuvuuksia



Kuva 11. Arkkitehti- ja sähkösuunnittelun riippuvuuksia sisältäviä yleissuunnitteluvaiheen tehtäviä



Kuva 12. Toteutussuunnitteluvaiheen tärkeitä riippuvuuksia



## 4.5 Uuden suunnitteluprosessin jalostus riippuvuusmatriisiksi

Työpajan osallistujien rakentama kuvan 9 mukainen suunnitteluprosessi muunnettiin matriisimuotoon Microsoft Excel -ohjelmistoa hyödyntäen. Tulos on esitetty liitteessä 1. Suunnitteluprosessin tehtävät on lueteltu allekkain ensimmäisessä sarakkeessa, ja niille on annettu järjestysnumero 1-130 numerojärjestyksessä. Tehtävien oletettu suoritusjärjestys on ylhäältä alas eli numerojärjestyksessä, mutta järjestysnumero ei vielä tässä vaiheessa kerro optimaalista suoritusjärjestystä tehtäville. Tehtävät, joille ei ole tehty riippuvuussuhdetta työpajassa, ovat listassa viimeisenä. Myös suunnitteluvaiheiden päättävät tehtävät 129 ja 130 on lisätty matriisiin viimeiseksi. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä, koska järjestys tullaan vielä optimoimaan. Ensimmäinen rivi kuvaa samoja tehtäviä, jotka on esitetty ensimmäisessä sarakkeessa, mutta tilan säästämiseksi sille on merkitty vain tehtävään viittaava järjestysnumero. Riippuvuussuhteen luonne voidaan lukea liitteen 1 matriisista seuraavanlaisesti: Kun luetaan tehtäväriviä, tälle riville lisätty merkki (x, a, b) kertoo, mille tehtäville rivin tehtävä antaa lähtötietoja, kun katsotaan mihin sarakkeeseen merkki on lisätty. Tämän sarakkeen tehtävännumero, joka voidaan lukea ensimmäiseltä riviltä, kertoo kyseisen tehtävän.

Työpajan osallistujien piirtämät riippuvuudet on merkitty matriisiin kirjaimella "x". Kaikkiin työpajassa rakennetun uuden suunnitteluprosessin tehtäviin ei ollut merkitty riippuvuussuhdetta muihin tehtäviin, todennäköisesti ajanpuutteen takia. Tulosten jatkojalostuksessa näistä tehtävistä tärkeimmiksi arvioituihin lisättiin riippuvuuksia tutkimuskirjallisuuden avulla. Näitä on merkitty kirjaimella "b". Riippuvuuksia on täydennetty myös seuraavalla loogisella riippuvuudella: On oletettu, että toiminnon karkea suunnittelu täytyy tehdä ennen detaljitason suunnittelua. Suunnitelmien edistyneempien versioiden tulee siis saada lähtötietoja saman toiminnon luonnoksenomaisilta suunnitelmilta. Näitä loogisia riippuvuuksia on merkitty kirjaimella "a". Myös yleis- ja toteutussuunnitelmat päättäviin tehtäviin (tehtävät 129-130), eli kirjallisen hyväksynnän hankkimiseen, on merkitty riippuvuudet kirjaimella "a": yleissuunnitelmavaiheen tehtävien täytyy olla valmiita ennen kirjallisen hyväksynnän hankkimista yleissuunnitelmille, ja toteutussuunnitelmavaiheen tehtävien täytyy olla valmiit ennen kirjallisen hyväksynnän hankkimista toteutussuunnitelmille. Toteutussuunnitelmavaiheen tehtävien aloitus riippuu myös hyväksytyistä yleissuunnitelmista.

Seuraavaksi tehtävien suoritusjärjestystä tulisi optimoida paremman suunnitteluprosessin saavuttamiseksi. Riippuvuusmatriisin luomisessa voidaan manuaalisesti siirrellä tehtäviä siten, että suoritusjärjestys ylhäältä

alaspäin luettaessa muuttuu. Tehtäviä vastaavien rivien ja sarakkeiden lisäksi myös merkinnät siirretään tehtävien mukana, jolloin itse riippuvuussuhteet eivät muutu. Tässä tapauksessa tehtäviä ja riippuvuuksia on kuitenkin niin paljon, että tämä metodi olisi erittäin työläs ja altis huolimattomuusvirheille. Tässä tutkielmassa päädyttiin siis hyödyntämään automatiikkaa. Esimerkiksi Excelissä voidaan luoda Makroja, jotka ovat käytännössä Visual Basic (VBA) -ohjelmointikieltä käyttäviä koodinpätkiä. Niillä voidaan suorittaa samoja tehtäviä mitä ihminen voi Excelissä suorittaa, mutta huomattavasti nopeammin. Koska tämän tutkielman tekijän taitotaso VBA:n hyödyntämisessä on hyvin rajallinen, päädyttiin etsimään Google-hakukonetta käyttäen internetistä muiden luomia ja jakamia Makroja, joilla voitaisiin optimoida riippuvuusmatriisi.

Työssä päädyttiin hyödyntämään Stuttgartin yliopiston ylläpitämällä sivustolla jaettuja Makroja [42], jotka ovat luoneet MIT:n opiskelijat juuri riippuvuusmatriisin optimoimista varten. Makroja sisältävien tiedostojen lataus ja suorittaminen voi olla riskialtista virusuhan takia, ja tästä syystä tiedostot tarkistettiin virustentorjuntaohjelmalla uhkien varalta ennen suorittamista. Tiedostot todettiin turvallisiksi. Tiedostoa muokattiin hyväksymään 130 tehtävää, ja aikaisemmin luodun matriisin riippuvuusmerkinnät muutettiin kaikki numeroksi 1, jotta ladatun tiedoston optimoinnin suorittava Makro toimisi suunnitellusti. Ladattuun Makrot sisältävään Excel-pohjaan kopioitiin liitteen 1 mukainen matriisi valmistelujen jälkeen. Makron luoma tulos ei ollut järkevä, joten huomattiin, että tiedosto käsittelee matriiseja, joissa riippuvuusuhteen vaikutussuunta on merkitty päinvastoin. Liitteen 1 mukaisen matriisin riippuvuusuhdemerkinnät jouduttiin siis Excelissä transponoimaan ennen liittämistä ladattuun Excel-tiedostoon, minkä jälkeen saavutettiin järkevä tulos, joka on nähtävissä liitteessä 2. Koska työn suorittavan tiedoston alkuperä on ulkoinen, kiinnitettiin tuloksen tarkistamiseen ja järkevyyteen erityistä huomiota.

Liitteen 2 matriisi on optimoinnin valmis tulos. Kuvissa 14 ja 15 tästä on nostettu esille joukko tehtäviä, jotka ovat toisistaan vahvasti riippuvaisia. Tehtävien optimaalinen suoritusjärjestys on ylhäältä alas. Tietenkin todellisuudessa tehdään samanaikaisesti niitä tehtäviä, joita voidaan suorittaa rinnakkain. Optimoidussa riippuvuusmatriisissa riippuvuudet on merkitty siten, että tehtävän riville lisätty merkki kertoo, miltä tehtävältä tarkasteltava tehtävä saa lähtötietoja. Tämä tarkoittaa sitä, että matriisia optimoidessa tehtäviä siirrellään siten, että mahdollisimman suuri osa riippuvuusmerkinnöistä asettuu diagonaalin alapuolelle tai ainakin mahdollisimman lähelle diagonaalia. Tällöin tietoa tarvitaan jo suoritetuilta tai pian suoritettavilta tai valmistuvilta tehtäviltä [18]. Valtaosa riippuvuuksista on saatu diagonaalin alapuolelle, mikä tarkoittaa sitä, että suoritettaessa tehtäviä ylhäältä alaspäin ei suoritettavana ole montaa tehtävää, jotka tarvitsisivat tietoja myöhemmin suoritettavalta tehtävältä.

Riippuvuusmerkintöjä tehtävien välillä on kuitenkin vähemmän kuin todellisuudessa, samoin kuin tehtäviä, mikä vääristää luotua riippuvuusmatriisia yksinkertaisemmaksi kuin mitä se todellisuudessa on.

Tehtävät, joilla on paljon epälineaarisia riippuvuussuhteita keskenään, voidaan tunnistaa matriisista diagonaalin yläpuolisista riippuvuusmerkinnöistä. Nämä toisiinsa kytkeytyvät, epälineaarista suoritusjärjestystä aiheuttavat tehtävät on ryhmitelty suoritettavaksi samanaikaisesti tai syvässä yhteistyössä. Ryhmät on havainnollistettu kuvissa 14 ja 15 sinisellä värillä. Kuvassa 14 esitetään yleissuunnitteluvaiheeseen syntyvät tehtäväryhmät, joita on neljä kappaletta. Näiden neljän ryhmän välillä on kuitenkin niin paljon riippuvuuksia, että ne sulautuvat yhdeksi suureksi ryhmäksi. Myös toteutussuunnitteluvaiheeseen muodostuu kuvan 15 mukaiset 3 pienempää ryhmää. Prosessin loppupäähän muodostuu vielä kaksi kahden tehtävän ryhmää.

Kuvassa 14 esitetyllä ryhmällä on useita haastavia tehtäviä, jotka saavat lähtötietoja järjestyksessä myöhemmin suoritettavalta tehtävältä ja joilla tämä näkyy diagonaalin yläpuolisena merkintänä. Tehtävä on hyvin haastava suorittaa, jos sillä on paljon diagonaalin yläpuolisia merkintöjä, tai jos merkki on kaukana diagonaalista. Tällöin tietoja tarvitaan paljon myöhemmin suoritettavalta tehtävältä. Kuvan 14 ryhmän haastavimpia tehtäviä ovat siis tilaratkaisujen suunnittelu, hankeaikataulun ja tilaohjelman luominen, tavoitteiden määrittely, tilaajan lähtötiedot, kiinteiden runko-osien luonnos, käytävien poikkileikkauskuvat, mallihuoneet, reikä tiedot, rakennusautomaation säätökaaviot, muuttuvien osien määrääarviot (LVIA) sekä alustava LVI-laiteluettelo.

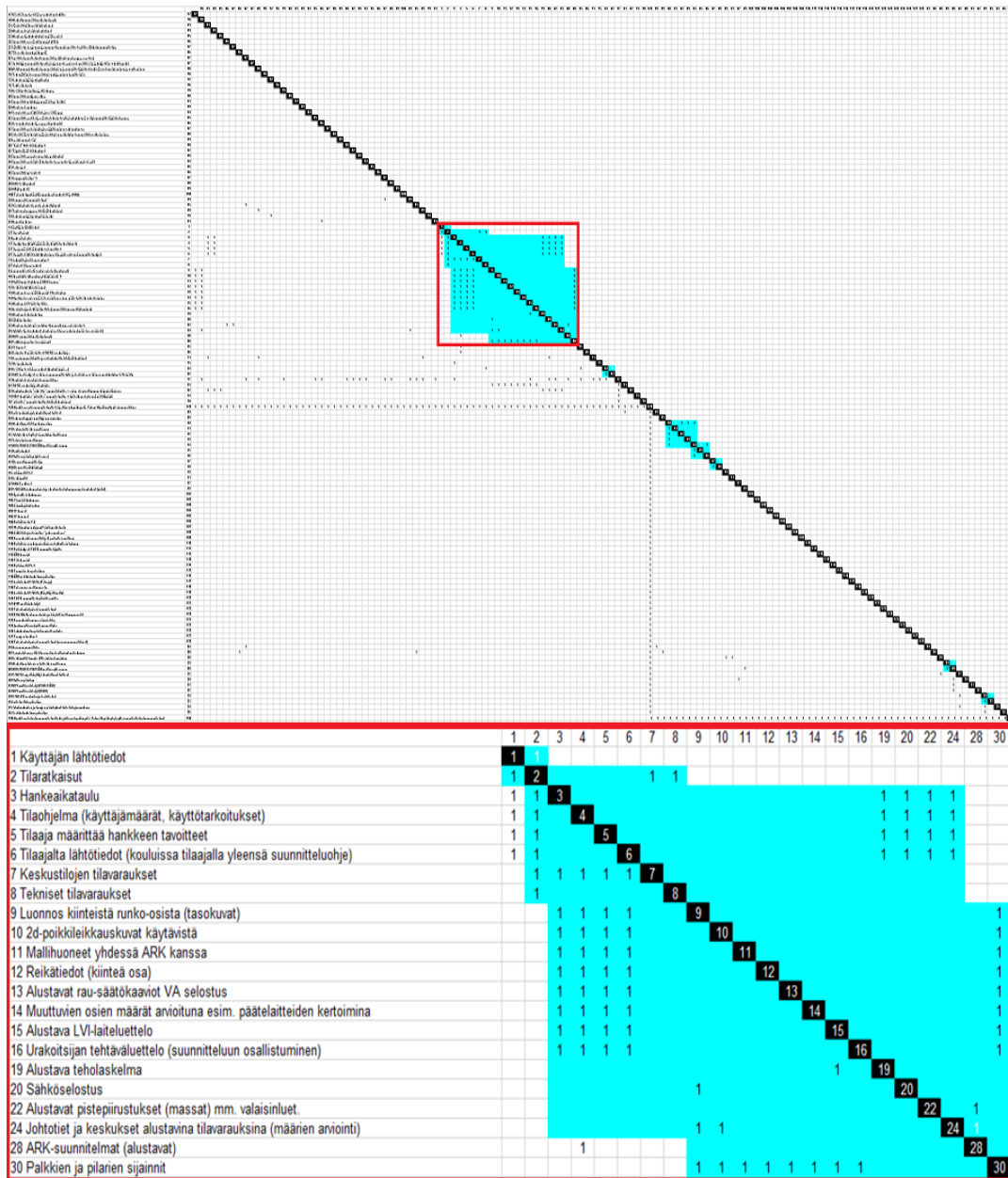
Kuvassa 15 esitetyt toteutussuunnittelun ryhmät ovat paremmin eroteltuja, mikä helpottaa suunnittelun järjestelyä ja yhteensovittamista. Suurin ryhmä käsittelee sähkösuunnittelun tehtäviä, ja näitä yhdistää riippuvuus alakattomalleista ja niihin liittyvästä korkojen suunnittelusta. Myös mallien yhteensovitus on merkittävä tehtävä. Kahden tehtävän ryhmät ovat elementtien suunnittelu ja sähköistys, alakattoon tulevien laitteiden mallinnus ja viimeinen mallien yhteensovitus, PJU/LVI urakoitsijalaitetiedot ja laiteluettelon päivitys. Nämä kahden tehtävän ryhmät on helppo suorittaa yhteistyössä, koska tehtäviä on vain kaksi.

Luodusta liitteen 2 mukaisesta matriisista nähdään optimoitu suoritusjärjestys, mutta koska riippuvuuksia ja tehtäviä jäi työpajoissa merkitsemättä, tulee suoritusjärjestystä tarkastella kriittisesti. Kirjallisuudesta ei myöskään löydetty tarpeeksi riippuvuussuhteita matriisin täydelliseksi täydentämiseksi. Esimerkiksi luodussa matriisissa tilaohjelma suoritetaan tilaratkaisujen jälkeen, mikä ei vaikuta järkevältä. Näiden tehtävien asettuminen johtuu työpajassa merkittyyn molemminsuuntaiseen riippuvuuteen tehtävien välillä. On kuitenkin selvää, että tilaratkaisujen riippuvuus tilaohjelmasta on huomattavasti suurempi kuin toisinpäin.

Tilaohjelma on myös yleensä jo valmis ennen yleissuunnitteluvaiheen alkua. Saman ryhmän sisällä on myös muita tavanomaisesta suunnittelujärjestyksestä poikkeavia järjestyksiä. Samassa ryhmässä suoritettavilta tehtäviltä tosin odotetaan jonkin verran samanaikaista, yhdessä tehtävää suunnittelua, joten täyson lineaarinen järjestys ei ole oletusarvona. Mikäli tehtäville ei ole merkitty muita riippuvuuksia kuin suunnitteluvaiheen kirjallisen hyväksynnän hakeminen, asettuvat nämä suoritusjärjestyksen alkuvaiheeseen. Näistä osa voidaankin suorittaa alkuvaiheessa, mutta suurin osa näistä tehtävistä todennäköisesti asettuisi riippuvuuksia täydennettäessä muualle. Tehtäviä, joille riippuvuuksia on merkitty enemmän, voidaan kuitenkin vertailla keskenään.

Yleisaikataulun laatiminen on esimerkki tehtävästä, joka kannattaa tehdä ennen hankinta- ja esivalmistesuunnitelmaa. Kriittiset reikävaraukset ovat suoraan riippuvaisia teknisistä tilavarauksista ja IV-koneista, joten tehtävä asettuu näiden jälkeen suoritettavaksi. Matriisista nähdään kuitenkin myös epäsuorat riippuvuudet. Reikävaraukset ovat välillisesti riippuvaisia esimerkiksi tilaratkaisuista, keskustilojen tilavarauksista, hankeaikataulusta, määritetyistä tavoitteista, tilaajan ja käyttäjän lähtötiedoista sekä tilaohjelmasta, jotka asettuvat järjestyksessä reikävarausten edelle. Myös sellaiset tehtävät, joilla ei ole suoraa tai epäsuoraa riippuvuutta, voivat asettua tehtävien edelle johtuen tehtävien ryhmittelystä. Alustava teholaskelma ja sähköselostus asettuvat järjestyksessä ennen kriittisiä reikävarauksia, koska nämä tehtävät kannattaa suorittaa yhdessä tai lähes samanaikaisesti sellaisten tehtävien kanssa, jotka antavat lähtötietoja kriittisille reikävarauksille.

Kuvan 3 mukaisessa nykyprosessissa tietomallinnusta tehdään jo yleissuunnittelun alkuvaiheessa, kun taas uudessa suunnitteluprosessissa tietomallinnusta aletaan tekemään kunnolla vasta toteutussuunnitteluvaiheessa. Tietomallinnuksen tehtävät on kuitenkin tarkemmin eritelty uudessa prosessissa. Nykyprosessista poiketen uudessa prosessissa mallien yhteensovitus toteutussuunnittelussa on jaettu kahteen vaiheeseen, karkeaan ja detaljisuunnitteluun. Koska molemmat mallien yhteensovitustehtävät ovat osana eri ryhmiä, ryhmät yhdistyisivät ilman tätä jakoa, mikä olisi lisännyt prosessin monimutkaisuutta. Tämä on hyvä esimerkki siitä, miten tehtäviä jakamalla päästään lähemmäksi lineaarista, selkeää prosessia. Myös kannakointien suunnittelu on siirtynyt riippuvuusmatriisin järjestyksen mukaisesti aikaisempaan vaiheeseen verrattuna kuvan 3 nykyprosessiin.



Kuva 14. Luotu riippuvuusmatriisi, josta on nostettu esiin yleissuunnitteluvaiheessa toisistaan riippuvat tehtävät ja näiden ryhmittely

		40	41	42	43	44	45	46	47	48
40 Alakattomallit! korkomaailma	40	40	1	1	1	1				
41 Keskuslaitteiden mallinnus	41	1	41							
42 Johtoteiden-hyllyt-ripustuksetmallinnus	42	1		42						
43 Valaisimien mallinnus	43	1			43					
44 ARK/RAK/LVIA/SÄH mallien yhteensov.	44	1				44	1	1		
45 Huoltoluukut	45					1	45			
46 Mallien päivitys (yht. sov.)	46					1		46		
47 Elementtisuunnittelija	47								47	1
48 (Elementti sähköistys)	48								1	48

Kuva 15. Toteutussuunnitteluvaiheen toisistaan riippuvat tehtävät ja näiden ryhmittely

## 5 Johtopäätökset

Tässä osiossa tehdään johtopäätöksiä kirjallisuuskatsauksesta ja työpajoista selvinneistä tuloksista, sekä pohditaan kirjallisuuskatsauksen ja työpajojen tuloksia ja niiden yhteneväisyyksiä keskenään. Löydettyjä haasteita, niiden ratkaisuja ja uutta suunnitteluprosessia pohditaan osioissa 5.1-5.3. Osiossa 5.4 arvioidaan tutkimusmenetelmiä ja rajoitteita työssä sekä kerrotaan, mitä työtä tehdessä opittiin.

### 5.1 Pohdintoja työpajassa keskustelluista haasteista

Suuri osa työpajoissa käsitellyistä haasteista löytyi jossain muodossa myös kirjallisuudesta. Haasteita vertailtaessa ja pohdittaessa huomattiin, että monet haasteet aiheuttavat muita haasteita. Kaikkiin työpajan haasteisiin ei löydetty selvää vastinetta kirjallisuudesta, mutta suurimpaan osaan kirjallisuuden haasteista löydettiin vastine työpajan tuloksista.

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että koulurakennusten suunnittelu on vaativaa esimerkiksi eri tyyppisten tilojen, palosuunnittelun ja esteettömyysvaatimusten takia. Myös resurssien puute ja sen aiheuttamat suunnitelmien toimitus- ja sisältöongelmat tunnistettiin. Nämä liittyvät hyvin läheisesti työpajoissa tunnistettuihin ongelmiin, kuten kiireyden tuntuun, suunnitteluresurssien epätasaiseen jakautumiseen ja resurssiin. Kiire ja resurssi-ongelmat todennäköisesti myös vaikuttavat työpajassa ilmenneeseen haasteeseen, jossa tehtävään tarvittavat lähtötiedot saadaan liian myöhään, mutta yksityiskohtaista suunnittelua tehdään liian aikaisin. Työpajassa mainittu liian tarkka tietomallintaminen saattaa myös aiheuttaa kiirettä. Kiirettä voitaisiin ehkäistä sopivan tarkkuustason valinnalla.

Työpajoissa huomautettiin eri kaupunkien vaihtelevista suunnitteluohjeista. Kirjallisuuskatsauksessakin havaittiin suunnitteluohjeiden eroavan toisistaan. Myös ohjeiden pituus koettiin kirjallisuudessa haasteeksi, mutta tätä ei työpajassa mainittu. Suunnitteluohjeisiin ei voida kovin helposti vaikuttaa rakennusurakoitsijoiden puolesta. Koulurakennuksista puhuttaessa tilaajilla eli kunnilla ja kaupungeilla on paremmat mahdollisuudet vaikuttaa ohjeisiin. Myös lupien hankinnassa on usein haasteita. Se voi johtua kunnan rakennusvalvontaviranomaisen hitaudesta tai puutteellisista suunnitelmista. Tässäkin rakennusurakoitsija voi vaikuttaa vain jälkimmäiseen syyhyn. [21]

Työpajassa tunnistettuun tilavarausten riittämättömyyteen toteutussuunnitteluvaiheessa ei löydetty suoraa vastinetta kirjallisuudesta. Tämä haaste kuitenkin todennäköisesti johtaa suunnittelumuutoksiin, jotka tunnistettiin kirjallisuudessa hyvin merkittäväksi haasteeksi

suunnitteluprosessin kannalta. Myös työpajoissa nostettiin esille muutosmenettelyiden haasteellisuus.

Tuloksissa kerrottiin siitä, kuinka kehitysvaiheesta vastuussa olevat vaihtuvat työmaasta vastaaviin työntekijöihin. Tämä tuskin on itsessään haaste, mutta aiheuttaa informaatiokatkoksen, joka on altis kommunikaatio-ongelmille. Kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että asiantuntijaryhmien välinen kommunikointi on tärkeää ja että yleinen sähköpostikommunikointi on koettu hitaaksi tavaksi välittää informaatiota.

Päätösten puutteellinen jäätyminen, päätöksentekoprosessin kokeminen kompleksiseksi ja työlääksi sekä päätösten sovittaminen näitä koskevaan suunnitteluun koettiin työpajassa haasteeksi. Tähänkään ei löydetty kirjallisuudesta suoraa vastinetta, mutta kirjallisuuskatsauksessa esitetty projektinjohtajan kokemattomuus on mahdollinen syy näille haasteille.

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että koulurakennuksilla on useita eri käyttäjiä. Käyttäjien tarpeisiin vastaaminen koetaan hankalaksi. Työpajassakin mainittiin, että käyttäjältä ei saada lähtötietoja sopivaan aikaan, ja että käyttäjien päätöksenteon ohjaaminen koetaan hankalaksi. Kirjallisuudessa nostettiin esille kommunikaation haasteet käyttäjän kanssa, sillä käyttäjät eivät usein ymmärrä teknisiä piirustuksia. Käyttäjän ja suunnittelijoiden välinen kommunikaatio on selvästi yhteinen tekijä näillä työpajan ja kirjallisuuden käyttäjiin liittyvillä haasteilla.

Työpajassa havaittiin, että hankesuunnitteluvaiheen suunnitelma ja budjetti eivät kohtaa, mikä aiheuttaa uudelleensuunnittelua. Myös kirjallisuuskatsauksessa nostettiin esille, että suunnittelu saattaa usein ajautua kauemmas alkuperäisistä tavoitteista. Tämän todettiin kasvattavan projektin kustannuksia, mikä aiheuttaa tarvetta karsimiselle.

Tiedon puute siitä, saako tilaaja As Build -mallin, mainittiin työpajassa haasteena. Tämä haaste liittyy sopimusten tulkintaeroihin, mikä puolestaan mainittiin kirjallisuudessa haasteena. Kirjallisuuskatsauksessa ja työpajassa tunnistettiin myös koulujen vuosikellosta aiheutuvat haasteet. Työpajassa mainitulle riittämättömälle rakennuksen aikaiselle muuntojoustavuudelle ei löydetty kirjallisuudesta vastinetta. Muuntojoustavuutta ei olla aikaisemmin ajateltu rakennuksen aikaiseksi ominaisuudeksi, vaikka koulurakennusten suunnittelussa perinteistä muuntojoustavuutta onkin pyritty lisäämään.

Muita työpajassa esiin tulleita haasteita, joille ei löydetty kirjallisuudesta vastinetta, olivat esimerkiksi seuraavat: eri konsulttien tekemät alustavat tilavaraukset; talotekniikkasuunnittelu ei tee tarpeeksi asennuskelpoisia alueita ja asennusten aikataulut on huono; talotekniikka suunnittelee liikaa tietomallien kautta; tukiteräkset puuttuvat mallista; muut tietomallin puutteet; suunnitelmapakettien ja hankinnan yhteensovitus; hankinnalle varattu riittämätön aika; vanhentunut ohjeistus yleisistä tietomallivaatimuksista sekä liian myöhäinen kannatusten ja talotekniikan yhteensovitus. Näiden esille tulleiden haasteiden voidaan siis käsittää olevan jossain määrin uutta tietoa.

Työpajassa mainitsematta jäivät kirjallisuuden haasteista esimerkiksi projektin keston epätarkka arviointi, aliurakoitsijoiden ja toimittajien huono suoriutuminen, osapuolten välinen konflikti ja rahoituksen ongelmat. Näistä rahoituksen ongelmat tuskin ovat merkittäviä koulurakennusten tapaisissa julkisissa hankkeissa, jos pysytään sovitun budjetin rajoissa. Työpajan rajallisen keston ja osallistujien määrän takia on odotettua, että kaikkia haasteita ei tule mainittua.

Pelkkien haasteiden listaaminen luo vain rajallista tietoa suunnitteluprosessin parantamista varten. Oleellista on myös tietää, kuinka merkittäviä tietyt haasteet ovat, jotta voidaan priorisoida sellaisia toimia, joilla voidaan vaikuttaa vakavampia haittavaikutuksia omaaviin haasteisiin. Y.A. Olawalen ja M. Sunin vuonna 2010 suorittaman kyselytutkimuksen tulokset olivat hyödyllisiä haasteiden merkittävyyden arvioimisessa [4]. Suunnittelumuutokset paljastuivat merkittävimmäksi haasteeksi ajanhallinnan kannalta, mikä oli hieman yllättävää.

## 5.2 Ratkaisujen arviointi

Työpajassa ehdotettiin lähtötietomatriisin hyödyntämistä ja suunnitelmien tuottamista tärkeysjärjestyksessä. Lähtötietomatriisi tarkoittaa samaa kuin suunnittelun riippuvuusmatriisi, jonka todettiin kirjallisuuskatsauksessa olevan hyödyllinen suunnitteluprosessin järjestelyssä ja jota hyödynnettiin myös tulosten jatkojalostuksessa. Riippuvuusmatriisia voisi mahdollisesti myös käyttää työkaluna, jonka avulla suunnitelmia tuotettaisiin tärkeysjärjestyksessä. Työpajoissa ehdotettiin myös referenssihankkeiden avulla tehtävän resursoinnin hyödyntämistä, tiedonvaihdon aikataulutusta ja suunnitelmien tuottamista tuotannon aikataulun perusteella. Nämä ratkaisut ja riippuvuusmatriisi liittyvät vahvasti toisiinsa suunnittelun aikataulutuksen kautta, vaikka näitä ei työpajoissa tai tutkimuskirjallisuudessa olekaan yhdistetty.

Muutoksien jäädyttämistä eli sallimista vain tiettyyn hetkeen käsiteltiin laajasti niin tutkimuskirjallisuudessa kuin kaikissa työpajoissakin. Tämä on siis tärkeä konsepti, joka on jo laajasti tunnistettu ja käytetty, mutta jota pitäisi hyödyntää vielä aiempaa enemmän. Työpajassa ehdotettiin myös takarajojen asettamista tilan käyttäjille ja tilaajalle. Se voitaisiin kirjata suunnittelusopimuksiin. Tässä voisivat myös auttaa tutkimuskirjallisuudessa käsitellyt suositukset yhteistoiminnalliseen suunnitteluun ja osallistamiseen liittyen. Näistä esimerkkejä olivat käyttäjien oikea-aikainen osallistaminen ja luonnosmallien hyödyntäminen osallistamisessa. Myös työpajoissa ehdotettiin käyttäjien aikaisempaa osallistamista, jotta lähtötiedot saataisiin ajoissa. Kirjallisuudessa tosin huomautettiin, että suunnittelun tulisi olla edennyt tarpeeksi pitkälle, jotta käyttäjille havainnollistuisi, minkälaisesta rakennuksesta on kyse.

Työpajoissa ehdotettiin myös suunnitelmien yhteensovituksen lisäämistä varsinkin suunnittelun alkuvaiheessa. Aikaisemmassa työpajassa merkittiin haaste, jonka mukaan yhteensovitus ennen suunnitelmien lukkoon lyömistä on liian tarkkaa suunnittelua (taulukko 2, haaste 3). Molempien neuvojen noudattaminen voi olla haastavaa. Big Room -metodin on tutkimuskirjallisuudessa todettu olevan erittäin hyödyllinen suunnitelmien yhteensovituksessa. Sitä voitaisiin hyödyntää enemmän projekteissa, vaikka tätä metodia ei suoraan työpajoissa mainittukaan. Tiedonvaihdossa voi auttaa myös last planner -menetelmän hyödyntäminen, mikä tunnistettiin sekä työpajoissa että tutkimuskirjallisuudessa.

Päätöksentekovälineitä, kuten CBA:ta, tulisi työpajan osallistujien mukaan hyödyntää enemmän. CBA:ta suositeltiin laajasti myös tutkimuskirjallisuudessa. Myös tilaajan tavoitteisiin suunnittelua eli TVD:tä ja rinnakkaissuunnittelua voidaan käyttää päätöksenteon apuna, mutta nämä mainittiin vain tutkimuskirjallisuudessa, ei työpajoissa.

Muita tutkimuskirjallisuudessa mainittuja, mutta työpajassa mainitsemattomia ratkaisuvaihtoehtoja ovat esimerkiksi keskinäinen arviointi, päätösaikataulun hyödyntäminen, suunnitelmapakettien käyttö, suunnittelumuutosten korostus suunnitteludokumenteissa ja toimittajien aikaisempi osallistaminen. Keskinäistä arviointia ei ole tutkittu kovinkaan paljon, joten sen puuttuminen työpajan ratkaisuista ei ole yllättävää. Päätöksiin ja varsinkin päätösten ajoittamiseen liittyviä haasteita mainittiin työpajoissa, joten kirjallisuudesta löydettyä päätösaikataulua voisi harkita päätöksiin liittyvien haasteiden lievittämiseksi. Suunnittelupakettien hyödyntäminen voitaisiin yhdistää kirjallisuudessa ja työpajoissa tutkittuun riippuvuusmatriisiin, koska matriisin tuloksena syntyviä ryhmiä voisi mahdollisesti hyödyntää suunnittelupakettien luomisessa.

Monet työpajassa ehdotetut ratkaisut, jotka liittyivät tietomallintamiseen, olivat uusia ratkaisuja, joita ei löydetty tutkimuskirjallisuudesta. Työpajassa mainittua tehtäväluetteloiden ja YTV:n päivitystä ja yhdenmukaistusta ehdotettiin työpajassa, muttei tutkimuskirjallisuudessa. Tämäkään ei ole kovin yllättävää, koska ne ovat kansallisesti rajoittuneita Suomeen eikä niistä siten ole kovin paljon tutkimuksia. Myös tietomallinnuksen vaatimuksien lisääminen, detaljien lisääminen malliin sekä kannatussuunnittelijan käyttö olivat uusia tietomallintamiseen liittyviä ratkaisuehdotuksia.

### **5.3 Pohdintaa uudesta suunnitteluprosessista**

Uutta suunnitteluprosessia lähdettiin luomaan työpajojen voimin. Lähiryhmä jakoi toteutussuunnittelua karkeaan ja detaljitason suunnitteluun. Tällaisella jakamisella voidaan vähentää vahvasti linkittyneiden tehtävien välisiä takaisinkytkentöjä, jotka aiheuttavat tarvetta oletuksien tekemiselle muiden tehtävien toistaiseksi keskeneräisistä

tuloksista ja siten aiheuttavat hukkaa oletuksien ollessa vääriä [18]. Tällä on mahdollisesti myös ollut vaikutusta siihen, että luodussa riippuvuusmatriisissa (liite 2) ei toteutussuunnitteluun muodostunut yhtä suurta toisiinsa linkittyneiden tehtävien ryhmää, jonka sisällä tehtäviä tulisi tehdä samanaikaisesti syvässä yhteistyössä, mikä varsinkin suurissa tehtäväryhmissä voi olla hankalaa. Tätä jakoa voisi siis mahdollisesti hyödyntää myös yleissuunnittelussa, jolloin riippuvuusmatriisista nähtävä suurin ryhmä saattaisi pienentyä. Jos niin kävisi, suunnittelu helpottuisi ja hukkaa tulisi vähemmän. Uuden suunnitteluprosessin molemmissa suunnitteluvaiheessa esiintyi useita molemminsuuntaisia riippuvuuksia, joten tehtävien jakamista voisi vielä suorittaa laajemminkin

Etäryhmän prosessissa hyödynnetään laajemmin kirjallisuudessakin suositeltua vakiointia, kiinteää perusosan ja muuttuvan tilaosan konseptia sekä esivalmisteita. Vakioimalla yleensä saavutetaan paremmin ennustettavia tuloksia muuallakin kuin rakennusteollisuudessa, joten siitä olisi varmasti hyötyä. Vakiointia toki hankaloittaa projektien erilaisuus, mikä riippuu rakennuspaikasta sekä tilaajien ja käyttäjien toiveista ja vaatimuksista.

Luotu optimoitu riippuvuusmatriisi on vielä melko yksinkertainen, mikä johtuu riippuvuuksien puutteellisesta merkitsemisestä. Kun tulosta verrataan esimerkiksi aikaisemmin esitellyn kuvan 2 mukaiseen suunnitteluprosessin riippuvuusmatriisiin, voidaan huomata, että tämän työn tuloksessa riippuvuuksia on huomattavasti vähemmän. Matriisiin tulisi siis täydentää lisää riippuvuuksia. Haasteena uusien riippuvuuksien löytämisessä kirjallisuudesta on ajanpuute ja sopivan aineiston löytäminen. Myös tutkielman tekijän puuttellinen kokemus rakennussuunnitteluprosessista luo haasteita uusien riippuvuuksien luomiselle. Tehdyn matriisin avulla saadaan kuitenkin tehokkaasti havainnollistettua mitkä tehtävät vaativat riippuvuussuhteiden täydentämistä, koska nämä asettuvat matriisin alkuun tai loppuun. Onkin selvää, että vaikka luotu matriisi ei ole täydellinen kuvaus koulurakennusten suunnitteluprosessista, on se ensimmäinen iteraatio sen saavuttamisessa.

Luotua riippuvuusmatriisia voidaan kuitenkin jo jossain määrin hyödyntää tehtävien välisten riippuvuuksien havainnollistamisessa ja prosessin johtamisessa. Matriisista nähdään, missä tehtävissä on eniten takaisinkytkentöjä ja mitkä tehtävät tulisi suorittaa samanaikaisesti yhteistyössä toistensa kanssa. Riippuvuusmatriisi auttaa informaation käsittelyssä, ja se sopii hyvin yhdessä rinnakkaissuunnittelun kanssa käytettäväksi [38]. Matriisista nähdään, miten kunkin suunnittelijan työ vaikuttaa koko prosessiin ja miten informaatio kulkee tehtävien ja suunnittelijoiden välillä. Se auttaa suunnittelijoita ymmärtämään töiden vaatimukset ja ohjaa kommunikoimaan oikeille tahoille esimerkiksi muutoksista tai viivästyksistä. Muutoksia tehdessä matriisista nähdään, mihin muihin tehtäviin kyseisen tehtävän muutokset vaikuttavat ja mitkä

näin ollen vaativat mahdollisesti uudelleensuunnittelua. Kuten aikaisemmin todettiin, suunnittelumuutokset ovat usein merkittävien haasteiden koko rakennusprojektissa, joten tämä voi auttaa paljon. [18]

Työpajoissa hahmoteltiin vain tehtäviä ja näiden välisiä riippuvuuksia, mutta arvioimalla tehtäviin kuluva aika voitaisiin tuloksia hyödyntää laajemmin esimerkiksi suunnittelun aikataulutuksessa. Tässä voitaisiin hyödyntää työpajassa mainittuja referenssihankkeita suunnittelun työmenekkien selvittämiseksi. Paremmalla suunnittelun aikataulutuksella voitaisiin vähentää kiirettä.

Tutkielman tarkoituksena on auttaa paremman suunnitteluprosessin luomisessa, mutta tästä ei ole hyötyä jos parannusehdotuksia ei oteta vakituisen käyttöön. Työpajassa heränneessä keskustelussa mainittiin, kuinka toimivia menetelmiä, kuten CBA:ta, on löydetty ja käytetty menestyksekkäästi, mutta niitä ei ole jostain syystä käytetty seuraavissa projekteissa. Omitu asiat, niin negatiiviset kuin positiivisetkin, tulisi tuoda osaksi yritysten tapaa toimia, ja projekteista opittu tieto tulisi jakaa muissa projekteissa toimiville suunnittelijoille. Luomalla näiden tietojen pohjalta vakioitua suunnitteluprosessia voitaisiin päästä useammin onnistuneisiin lopputuloksiin.

## **5.4 Tutkimusmenetelmien arviointi ja rajoitteet, mitä opittiin**

Suurimpia rajoitteita tässä tutkielmassa on työpajan osallistujien määrä. Sen lisäksi, että otanta on hyvin pieni, eivät kaikki suunnittelunalat ole tasavertaisesti edustettuja. Esimerkiksi arkkitehteja ei työpajassa ollut yhtäkään. Tästä syystä haasteet, jotka ovat lähes yksinomaan arkkitehtien tiedossa, tulevat huomattavasti esille. Tulokset vääristyvät siis siten, että rakentamisen tekninen suunnittelupuoli (LVISA, RAK) näyttää haasteellisempaan kuin muiden osapuolien prosessi. Myös tilaajapuolen edustajien puute vaikuttaa tuloksiin. Arkkitehtien, tilaajien ja käyttäjien puutteellinen osallistuminen vääristää myös osaltaan tuloksia, sillä tärkeitä tehtäviä ja riippuvuuksia jää merkittämättä, mikä saa prosessin näyttämään yksinkertaisemmalta kuin mitä se todellisuudessa on.

Työn rajaus projektinjohtourakamuodolla toteutettaviin kouluhankkeisiin luo myös rajoitteita tulosten hyödyntämisessä. Suurin osa lähdeaineistosta käsitteli Suomessa tehtyjä rakennushankkeita, ja työpajojen osallistajat ovat oletettavasti työskennelleet enimmäkseen Suomessa. Se rajoittaa työn hyödynnettävyyttä muissa maissa, joissa voi olla poikkeavia käytäntöjä. Tästä huolimatta työpajojen ja suomenkielisen kirjallisuuden erot kansainvälisten tutkimusten kanssa olivat pieniä ainakin haasteiden osalta. Yhteneväisyyksiä löytyi paljon myös ratkaisujen osalta, mutta pääpiirteittäin voidaan sanoa, että prosessissa esiintyvät haasteet ovat

pääosin universaaleja, kun taas näihin haasteisiin vastaavat toimet voivat erota toisistaan.

Työtä tehdessä opittiin, että rakennussuunnitteluprosessi on hyvin monimutkainen niin koulujen kuin muidenkin rakennusten osalta ja siihen liittyviä tehtäviä on erittäin paljon. Näin suuren datamäärän käsittely suhteellisen pienillä työpajoilla on hyvin hankalaa, eikä tuloksissa tällöin nähdä koko kuvaa riittävän tarkasti. Laadukkaampien tulosten saavuttamiseksi tarvittaisiin huomattavasti suurempia työpajoja, monipuolisemmin eri alojen edustajia ja enemmän aikaa työpajoille. Myös fasilitoinnin merkitys on hyvin tärkeä, jotta työpajoista saadaan haluttuja tuloksia.

## 6 Yhteenveto

Lopuksi kerrotaan vielä lyhyesti, miten työn tutkimuskysymyksiin vastattiin. Tässä luvussa esitellään myös jatkotutkimusehdotus riippuvuusmatriisin täydentämisestä.

Tämän työn tarkoituksena ja tutkimuskysymyksinä oli tutkia suunnittelun nykyprosessia, mitä haasteita nykyprosessissa ilmenee ja mitä ratkaisuja näille haasteille on, sekä miten havaintojen perusteella nykyistä suunnitteluprosessia voitaisiin kehittää paremmaksi. Nykyprosessin tutkiminen tarkemmin oli haasteellista, koska kirjallisuudessa suunnitteluprosessia ei ole esitetty kovin tarkasti, ja jos se on esitetty, ei tehtävien välisiä riippuvuuksia ole merkitty. Myöskin työpajoissa luoduissa nykyprosessien kuvauksissa riippuvuudet jäivät puutteellisen fasilitoinnin takia pääosin pois. Toisaalta löydökset tai tarkemmin sanottuna niiden puute nykyprosessista kuvastavat sitä, miten nykyprosessista puuttuu selkeyttä ja läpinäkyvyyttä, tai ainakin prosessin dokumentointi on puutteellista. Läpiviennissä luotetaan projektinjohtajan kokemukseen.

Suunnitteluprosessin haasteita ja näiden ratkaisuja sen sijaan löydettiin runsaasti sekä työpajoista että kirjallisuudesta. Merkittävimmäksi haasteeksi kirjallisuudesta löydettiin suunnittelumuutokset, jolle ratkaisuksi esitettiin lähtötietoaikataulu ja suunnittelun jäädyttäminen. Työpajoissa esitetyt haasteet olivat suurilta osin samoja mitä kirjallisuudessa. Moni niihin vastaavista ratkaisuista käsittelee päätöksenteon ja suunnittelun ajoitusta sekä oikean tarkkuustason valintaa vaiheesta riippuen, mihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi aikatauluja luomalla.

Yksittäisten ratkaisujen löytämisen lisäksi työssä pyrittiin kehittämään suunnitteluprosessia paremmaksi vaikuttamalla tehtävien väliseen vuorovaikutukseen. Työpajassa kehiteltiin uutta, parempaa suunnitteluprosessia, jota täydennettiin kirjallisuudesta löydettyillä riippuvuuksilla. Tätä jalostettiin luomalla tehtävistä ja niiden välisistä riippuvuuksista riippuvuusmatriisi. Se havainnollistaa tehtäväkokonaisuuksia, joiden sisäiset tehtävät riippuvat vahvasti toisistaan ja jonka avulla voidaan selvittää, mitä tehtäviä kannattaisi jakaa useampaan osaan, esimerkiksi karkeaan ja detaljitason suunnitteluun.

Jatkotutkimuksella voitaisiin täydentää luodun riippuvuusmatriisin riippuvuuksia ja luoda paremmin todellisuutta vastaava matriisi sekä tehokkaampi, toimivampi suoritusjärjestys. Täydennettyä riippuvuusmatriisia voidaan jatkokehittää lisäämällä tehtävien oletettu kesto ja luomalla tästä suunnittelu-aikataulu, jolloin voidaan havainnollistaa, milloin mikäkin tehtävä tulisi aloittaa ja mitä tehtäviä tehdä samanaikaisesti, koska oikeassa suunnitteluprosessissa tehtäviä ei tehdä yksi kerrallaan.

## Lähteet

- [1] Carpenter, N. & Bausman, D. C. Project delivery method performance for public school construction: Design-bid-build versus CM at risk. *Journal of construction engineering and management*. 2016, vol. 142, n. 10. ISSN: 0733-9364. Saatavissa: doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001155
- [2] Uusitalo, P. & Seppänen, O. & Peltokorpi, A. & Olivieri, H. Solving design management problems using lean design management: the role of trust. *Engineering, construction, and architectural management*. 2019, vol. 26, n. 7, s. 1387-1405. ISSN: 0969-9988. Saatavissa: doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0135
- [3] Eurostat. Construction producer price and construction cost indices overview. 2023. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Construction\\_producer\\_price\\_and\\_construction\\_cost\\_indices\\_overview#Construction\\_costs\\_-\\_development\\_since\\_2005](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Construction_producer_price_and_construction_cost_indices_overview#Construction_costs_-_development_since_2005)
- [4] Olawale, Y.A. & Sun, M. Cost and time control of construction projects: inhibiting factors and mitigating measures in practice. *Construction management and economics*. 2010, vol. 28 n. 5, s. 509-526. ISSN: 0144-6193. Saatavissa: doi:10.1080/01446191003674519
- [5] Formoso, C.T & Tzotzopoulos, P. & Jobim, M.S.S & Liedtke, R. Developing a protocol for managing the design process in the building industry. *Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, Brazil. IGLC, 1998.*
- [6] Ollitervo, J. Tietomallipohjainen työkalu käyttäjälähtöisten suunnittelumuutosten hallintaan. *Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki. 2018. 43 s.*
- [7] Mujumdar, P., & Maheswari, J. U. Design iteration in construction projects—Review and directions. *Alexandria Engineering Journal*, 2018. vol. 57, n.1, 321-329. ISSN 1110-0168. Saatavissa: doi: 10.1016/j.aej.2016.12.004
- [8] Koskela, L. & Huovila, P. & Leinonen, J. Design management in building construction: from theory to practice. *Journal of construction research*. 2002, vol. 3, n. 1, s. 1-16. ISSN: 1609-9451. Saatavissa: doi: 10.1142/S1609945102000035

- [9] Ming, L. & Heng, L. Resource-Activity Critical-Path Method for Construction Planning. *Journal of construction engineering and management*. 2003, vol. 129, n.4, s. 412–420. ISSN: 0733-9364. Saatavissa: doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:4(412)
- [10] Kiiras, J. & Kruus, M. & Peltonen, T. & Sivunen, M. *Projektinjohtorakentaminen ja muita palvelumuotoja*. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2019. 312 s. ISBN 978-952-267-240-7.
- [11] Kyrö-Kangas, S. *Talonrakennuksen hankesuunnittelun haasteet. Opinnäytetyö*. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoki. 2021. 36 s.
- [12] Valtionvarainministeriö. Valtion talousarvioesitykset: Talousarvioesitys 2023. 2023. Haettu 14.1.2024 osoitteesta <https://budjetti.vm.fi/indox/sisalto.jsp?year=2023&lang=fi&maindoc=/2023/tae/hallituksenEsitys/hallituksenEsitys.xml&opennode=0:1:149:395:837:865>:
- [13] Becker, R., Goldberger, I., & Paciuk, M. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. *Building and Environment*. 2007, vol 42, n. 9, s. 3261-3276. ISSN 0360-1323. Saatavissa: doi: 10.1016/j.buildenv.2006.08.016
- [14] Pennanen, A. *Rakennushankkeen tilamitoitus*. Helsinki: Rakennustieto Oy, 1999. 116 s. ISBN 951-682-538-9
- [15] Pereira, P.R.P. & Kowaltowski, D.C.C.K. & Deliberador, M.S. Analysis support for the design process of school buildings. *Ambiente Construído*. 2018, vol. 18, n. 3, s. 375-390. ISSN 1678-8621. Saatavissa: doi:10.1590/s1678-86212018000300287
- [16] Zenke, C. T. The challenge of open space. Lessons from a pioneering school building layout in Germany. *IALS-Journal*. 2018, vol. 8, n.1, s. 9-16.
- [17] Barry, G. & O’Keeffe, L. & White, B. & Colton, J. & Farmer, L. Preliminary exploration of noise and student learning in modern flexible education spaces. *Proceedings of Acoustics*. 2021, vol. 21, n. 23, s. 2022. ISSN: 2624-599X. Saatavissa: [www.mdpi.com/journal/acoustics](http://www.mdpi.com/journal/acoustics)

- [18] Savolainen, J. & Junnonen, J.M. & Saari, A. Rakennushankkeen suunnittelun ohjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2023. 103 s. ISBN 978-952-267-466-1
- [19] Oulun seudun ympäristötoimi. Suunnitteluohjeita koulun ja oppilaitoksen perustamiseen. 2021. Saatavissa: <https://www.ouka.fi>
- [20] Opetushallitus. Perusopetuksen opetussuunnitelman ydinasiat. 2024. Haettu 14.1.2024 osoitteesta <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/perusopetuksen-opetussuunnitelman-ydinasiat>
- [21] Myller, H. Kouluhankkeiden kustannusvertailu: ovatko Helsingin kaupungin kouluhankkeet muuta Suomea kalliimpia? Diplomityö. Aalto-yliopisto, teknillinen korkeakoulu. Espoo. 2022. 106 s.
- [22] Rakennustieto. Perusopetuksen tilat. Tilasuunnittelu. 2019, RT-103081
- [23] Opetus- ja kulttuuriministeriö. Oppilaitosrakennusten turvallisuus. 2015. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75199/tr02.pdf>
- [24] Pikas, E. & Koskela, L. & Seppänen, O. Improving Building Design Processes and Design Management Practices: A Case Study. Sustainability. 2020, vol. 12 n. 3, s. 911. ISSN: 2071-1050. Saatavissa: doi:10.3390/su12030911
- [25] Arain, F.M. & Assaf, S. & Pheng, L.S. Causes of discrepancies between design and construction. Architectural Science Review. 2004, vol. 47 n. 3, s. 237-249. ISSN: 0003-8628. Saatavissa:10.1080/00038628.2000.9697530
- [26] Karhu, M. Rakennussuunnittelun ohjauksen kehittäminen talonrakennusyrityksen kannalta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 2013. 92 s.
- [27] Galaz-Delgado, E.I & Herrera, R.F & Atencio, E. & Munoz-La, R.F & Biotto, C.N. Problems and challenges in the interactions of design teams of construction projects: A bibliometric study. Buildings. 2021, vol. 11, n. 10. ISSN: 2075-5309. Saatavissa: doi: 10.3390/buildings11100461

- [28] Bølviken, T. & Gullbrekken, B. & Nyseth, K. Collaborative design management. Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel. IGLC, 2010. Vol 18, s. 14-16. Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [29] Burati, J.L. & Farrington, J.J. & Ledbetter, W.B. Causes of Quality Deviations in Design and Construction. Journal of construction engineering and management. 1992, vol. 118, n. 1, s. 34-49. ISSN: 0733-9364. Saatavissa: doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:1(34)
- [30] Knotten, V. & Svalestuen, F. & Lædre, O. & Hansen, G. Improving design management with mutual assessment. 24th conference of the international group for lean construction, Boston, USA. IGLC, 2016. vol. 24, s. 173-182. Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [31] Jantunen, T., Haapaniemi, R. Iloa kouluun. Jyväskylä: PS-kustannus, 2013. 331 s. ISBN 978-952-451-601-3
- [32] Savolainen, J. M. & Saari, A. & Männistö, A. & Kähkönen, K. Indicators of collaborative design management in construction projects. Journal of Engineering, Design and Technology. 2018, vol. 16 n. 4, s. 674-691.
- [33] Hamzeh, F.R. & Ballard, G. & Tommelein, I.D. Is the Last Planner System applicable to design? A case study. Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan. IGLC, 2009. vol. 17 s. 13-19. Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [34] Binniger, M. & Dlouhy, J. & Haghsheno, S. Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Heraklion, Greece. IGLC, 2017. Vol 25, s. 605-612, Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [35] Hemal, R.M.N. & Waidyasekara, K.G.A.S. & Ekanayake, E.M.A.C. Integrating design freeze into large-scale construction projects in Sri Lanka. Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon). IEEE. 2017, s. 259-264. Saatavissa: doi: 10.1109/MERCon.2017.7980492
- [36] Zimina, D. & Ballard, G. & Pasquire, C. Target value design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost.

Construction management and economics. 2012, vol. 30, n. 5, s. 383-398. ISSN: 0144-6193. Saatavissa: doi: 10.1080/01446193.2012.676658

- [37] Parrish, K. & Tommelein, I.D. Making Design Decisions Using Choosing by Advantages. Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan. IGLC, 2009. Vol 17, s. 535-544, Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [38] Castañeda, K. & Herrera, R.F. & Sánchez, O. & Mejía, G. Set-based design in construction projects: benefits, difficulties and trends. Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Lille, France. IGLC, 2023. Vol 31, s. 1092-1103. Saatavissa: [www.iglc.net/papers](http://www.iglc.net/papers)
- [39] Khan, S. Application of design structure matrix (DSM) for managing projects on the basis of constructability. Civil Engineering and Architecture. 2016, vol. 4, n. 3, s. 91-111. Saatavissa: doi: 10.13189/cea.2016.040302
- [40] Senthilkumar V. & Varghese K. Structured Methodology to Formulate Drawing Dependency Structure Matrix for Construction Design. Architectural Engineering and Design Management. 2009, vol. 5 n. 4, s. 225-248. ISSN: 1745-2007. Saatavissa: doi:10.3763/aedm.2008.0103
- [41] Tang, P. & Huber, D. & Akinci, B. & Lipman, R. & Lytle, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Automation in construction. 2010, vol. 19 n.7, s. 829-843. ISSN: 0926-5805. Saatavissa: doi: 10.1016/j.autcon.2010.06.007
- [42] Students of Prof. Eppinger at MIT (ei nimetty). Excel Macros for partitioning und Simulation. Saatavissa: <https://dsmweb.org/excel-macros-for-partitioning-und-simulation/>

# Liitteet

Liite 1: Riippuvuussuhteet taulukoituna matriisimuotoon



Liite 2: Optimoitu riippuvuusmatriisi

