

Puukaton rakennejärjestelmän valinta

Olli-Petteri Koski

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

KOSKI, OLLI-PETTERI:
Puukaton rakennejärjestelmän valinta

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2022

Opinnäytetyössä vertaillaan puurakenteisia kattoja ja etsitään perusteet, joilla katon rakennejärjestelmä ja rakennustapa valitaan. Opinnäytetyön tilaaja Sweco Rakennetekniikka Oy haluaa syventää osaamistaan puukattojen kokonaissuunnittelussa sekä löytää keinoja tarjota parempia palveluja rakennuttajille ja urakoitsijoille.

Tutkimuksessa perehdytään eri kattojen toteutustapoihin ja niiden vaikutuksiin koko rakennushankkeessa, toteutusvaihetta painottaen. Tutkittavia vaikutuksia ovat hinta, työturvallisuus, työmaa-aika, kosteudenhallinta ja sääsuojaus. Vertailtavat rakennejärjestelmät ja toteutustavat ovat pukkikatto, NR-pukkikatto, kattolohkot ja kattoelementit. Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuuslähteitä ja asiantuntijahaastatteluja. Haastateltavina ovat niin urakoitsija-, puutuotevalmistaja-, valvonta- kuin kustannuslaskentatahotkin.

Tutkimuksesta selviää perusteita rakennejärjestelmän ja toteutustavan valintaan ja niiden vaikutuksiin esimerkiksi kerrostalo-, koulu- ja terveyskeskuskohteissa. Rakennustyyppejä yhdistää se, että kattorakenteet asennetaan kantavalle alustalle, kuten betoniholville tai puisten tilaelementtien päälle.

Kustannukset osoittautuvat tärkeimmäksi valintaperusteeksi, mutta kokonaistaloudellisimman ratkaisun valintaan vaikuttavat monet tekijät. Jokaisella järjestelmällä ja toteutustavalla on omat etunsa ja haittansa, joita punnitsemalla valitaan katon rakennustapa hankekohtaisesti.

Työn tuloksia on mahdollista hyödyntää sellaisen kaavion tuottamiseen, jonka avulla kokonaistaloudellisin katon rakennustapa on valittavissa tavanomaisiin kohteisiin. Tähän tarvitaan tietyiltä osin vielä lisää selvitystyötä.

Asiasanat: vesikatto, naulalevyristikko, kattolohkot, kattoelementit, pukkikatto, rakennejärjestelmä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

KOSKI, OLLI-PETTERI:
Selecting the Structural System for a Wooden Roof

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 2 pages
May 2022

This thesis compares wooden roof structures and searches for the selection criteria for roof structural system and construction method. The thesis was commissioned by Sweco Rakennetekniikka Oy and it aims at deepening the expertise in designing wooden roofs.

The thesis examines different roof construction methods and their effects throughout the construction project. The studied effects are costs, work safety, site schedule, moisture control and weather sheltering. The studied structural systems and construction methods are on-site built roof of timber, on-site built roof using wooden nail plate trusses, prefabricated roof panels and prefabricated roof sections using wooden nail plate trusses. Literary sources and expert interviews are used as research methods.

The costs turned out to be the principal criterion in selecting the construction method. Still, the most economical solution comes from several aspects. Every structural system and construction method have their own advantages and disadvantages in different construction projects.

The results of the work can be utilized to produce a diagram that will help to select the most economical construction method in conventional building projects. This requires further studies in certain respects.

Key words: roof, nail plate truss, roof sections, prefabricated roof, structural system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	RAKENTAMISTAPOJA.....	10
	2.1 Yleistä	10
	2.2 Paikalla rakennettu katto.....	11
	2.3 Pukkikatto naulalevyristikoilla.....	12
	2.4 Kattoelementit	15
	2.5 Kattolohkot	17
3	RAKENNUSTAPOJEN VERTAILU.....	21
	3.1 Kustannukset	21
	3.1.1 Kustannustieto hankkeen varhaisissa vaiheissa	21
	3.1.2 Suunnittelun vaikutus kustannuksiin.....	24
	3.1.3 Rakentamisvaiheen kustannukset.....	26
	3.2 Työmaa-aika	29
	3.2.1 Paikallarakennettu pikkikatto	29
	3.2.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla	30
	3.2.3 Kattolohkot	31
	3.2.4 Kattoelementit.....	32
	3.3 Sääsuojaus ja kosteudenhallinta.....	33
	3.3.1 Paikallarakennettu pikkikatto	34
	3.3.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla	34
	3.3.3 Kattolohkot	35
	3.3.4 Kattoelementit.....	35
	3.4 Työturvallisuus	36
	3.4.1 Paikallarakennettu pikkikatto	37
	3.4.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla	38
	3.4.3 Kattolohkot	38
	3.4.4 Kattoelementit.....	39
	3.5 Tehokkaat kokonaismitat ja reunaehdot.....	39
	3.5.1 Pukkikatto naulalevyristikoilla	40
	3.5.2 Kattoelementit.....	41
	3.5.3 Kattolohkot	42
4	VALINTAPERUSTEET RAKENNUSTAVALLE.....	43
	4.1 Asiantuntijahaastattelut	43
	4.2 Toteutustavan vaihtaminen urakan aikana.....	46
	4.3 Yhteenveto valintaperusteista	47
	4.3.1 Rakennejärjestelmän ja toteutustavan valintaperusteet	47

4.3.2 Rakennejärjestelmien edut ja haitat.....	48
5 POHDINTA	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	55
Liite 1. Työmenekkilaskenta osa 1	55
Liite 2. Työmenekkilaskenta osa 2	56

ERITYISSANASTO

alasidepuu	Tässä opinnäytetyössä alasidepuulla tarkoitetaan lankua, johon vesikaton rungon alapää kiinnitetään, ja joka on kiinnitetty kantavaan alustaan.
holvi	teräsbetonirakenteinen kerrostalon välipohja
kattotuoli	vesikaton kannatin
naulalevy	Teräslevy, johon on puristettu leikkaamalla ja kohtisuoraan taivuttamalla piikkejä. Käytetään puun liitoksissa.
NR-ristikko	Naulalevyillä koottu puinen ristikko, esimerkiksi kattoristikko.
olosuhdehallinta	Hallitaan rakennustyön aikaisten olosuhteiden, kuten vesi- tai lumisateen tai lämpötilan, vaikutusta rakentamiseen.
pukkikatto	Vesikaton rakennejärjestelmä, jossa vesikatto rakennetaan kantavalle alustalle, kuten betoniholville.
tilaelementti	rakennuselementti, jossa on valmiiksi rakennettuna vähintään ylä- ja alapohja, sekä päätyseinät
yläpohja	rakennuksen ylimmän kerroksen yläpuolisten rakenteiden ja vesikaton muodostama kokonaisuus

1 JOHDANTO

Vesikaton tärkein tehtävä on suojata rakennusta vedeltä ja lumelta. Se on yleensä myös merkittävä osa talon ulkoasua. Katon voi toteuttaa lukemattomilla eri tavoilla ja toteutustavan valintaan vaikuttaa iso määrä tekijöitä, joista mainittakoon esimerkkeinä talotekniset varaukset, kuten ilmanvaihtoputket ja -koneet, katon asennustapa ja ulkomuoto, rakennushankkeen aikataulu, urakoitsijan käytämät menetelmät ja osaaminen sekä tontilla käytettävissä oleva tila. Tärkein yksittäinen tekijä on kuitenkin hinta. Katon ulkomuodon määrittelevät lähes aina kaavamääräykset.

Kattoja on monen muotoisia. On pulpettikattoja, harjakattoja, tasakattoja ja näiden yhdistelmiä, jotka voivat olla erittäin monimuotoisia ja kallistua useaan suuntaan. Kerrostalojen katot ovat monimuotoistuneet tällä vuosituhannella, ja niiden toteutustapojen kirjo on kasvanut.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin puukaton toteutustapoihin ja niiden vaikutuksiin koko rakennushankkeessa. Tutkittavia vaikutuksia ovat hinta, työturvallisuus, työmaa-aika, kosteudenhallinta ja sääsuojaus. Tutkimusmenetelminä käytetään asiantuntijahaastatteluja ja kirjallisuuslähteitä.

Opinnäytetyön tilaajana on Sweco Rakennetekniikka Oy. Se on rakennetekniikan markkinajohtaja Suomessa ja vahva puurakentamisen asiantuntija, jolla on myös merkittävä NR-suunnitteluosaaminen. Opinnäytetyölle on selvä tarve: yritys haluaa syventää osaamistaan puukattojen kokonaissuunnittelussa sekä löytää keinoja tarjota parempia palveluja rakennuttajille ja urakoitsijoille.

Työn tavoitteena on selvittää eri rakennevaihtoehtojen vaikutus koko rakennushankkeen aikatauluun sekä kustannuksiin ja löytää syitä ja perusteluja katon rakennejärjestelmän ja asennustavan valintaan. Tavoitteena on myös kartoittaa erilaisille rakenteille tehokkaat jännevälit ja reunaehdot helpottamaan rakennejärjestelmän valintaa.

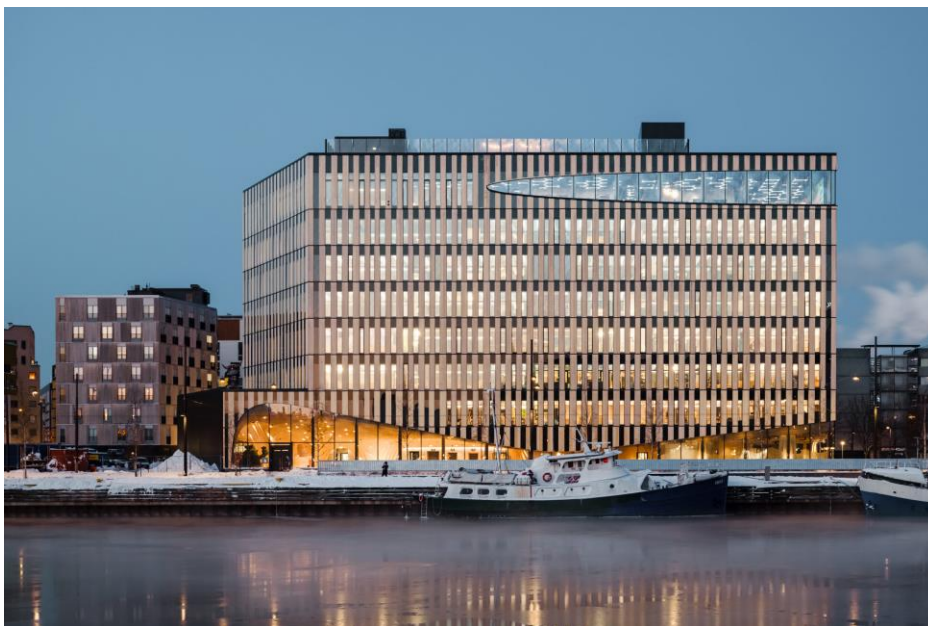
Tässä opinnäytetyössä keskitytään sellaisiin uudisrakennusten yläpohjiin, joissa mahtuu kulkemaan ja joissa on talotekniikan kulkureittejä. Katot rakennetaan joko holville tai puisten tilaelementtien päälle.

Esimerkkejä rakennuksista, joissa tyypillisesti tällaisia kattoja käytetään:

- asuinkerrostalot (kuva 1)
- toimistorakennukset (kuva 2)
- julkiset rakennukset kuten koulut, päiväkodit tai terveyskeskukset (kuva 3)



KUVA 1. Puu- ja betonirunkoinen asuinkerrostalo Turun Hirvensalossa. (Mangrove Oy 2022)



KUVA 2. Supercell Oy:n puurakenteinen pääkonttori Helsingissä. (Uusheimo 2021)



KUVA 3. Mansikkalan koulukeskus. (AL-Katot n.d.)

2 RAKENTAMISTAPOJA

2.1 Yleistä

Perustyyppi ja lähtökohta puukatolle on rakentaa se valmiin rungon päälle sopivasta puutavarasta. Puusta voidaan rakentaa kaiken muotoisia kattoja, ja katot voidaan luokitella loiviksi ja jyrkiksi. Erityisesti jyrkät katot voivat lisäksi olla monimuotoisia ja näyttäviä, ja niitä voidaan kutsua rakennuksen viidensiksi julkisivuiksi. (Kattoliitto 2019)

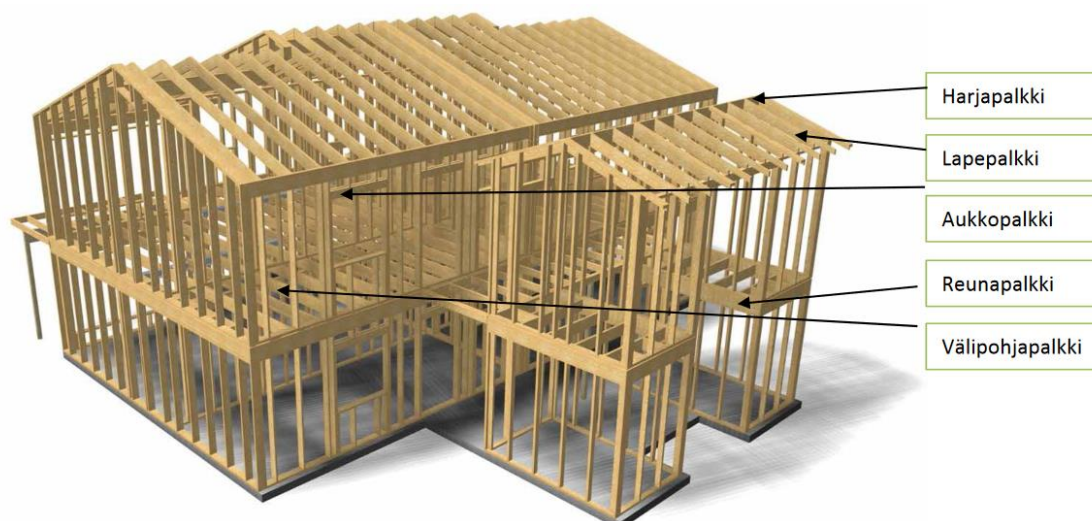
Rakennustuotannon tehostumisen myötä tätä perusajatusta on jalostettu ja enää ei esimerkiksi tarvita valmista runkoa, vaan katon kantavat rakenteet voidaan tilata ja valmistaa heti, kun rakennuksen ulkomitat ovat varmistuneet. Katto voidaan myös rakentaa maan tasalla tai tehtaassa, samanaikaisesti kun talon runkovaihe etenee. Runkovaiheen kanssa samanaikainen katonvalmistus lyhentää rakennusaikaa. Maassa rakentaminen vaatii kuitenkin tilaa, joten ahtailla rakennuspaikoilla se ei ole mahdollista, vaan jäljelle jää ylhäällä rakentaminen tai kattoelementtien tilaaminen täsmätoimituksena (Vilanen 2022). Kattoelementit valmistetaan tehtaalla, ja ne voidaan varustaa lämmöneristeellä sekä höyrynsulkukermillä, ja työmaalla tehtäväksi jää saumojen tiivistys ja pintakermin asennus. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa rakentamisesta tapahtuu tehtaiden hallituissa olosuhteissa (Rakennustaito 2020).

Katon muoto vaikuttaa oleellisesti toteutustavan valintaan. Loivien kattojen kaltevuus on 1:10 tai vähemmän. Niiden suunnittelun lähtökohdan tulisi olla tarvittavien kallistusten tekeminen jo kantaviin rakenteisiin, sekä katemateriaalin vedennäköisen kesto. Loivempia kattoja, kuin 1:80 ei tulisi suunnitella. Jyrkän ja loivan katon rajaa ei voida tarkasti määritellä, ja 1:10 – 1:20 kaltevuuksilla on edelleen kiinnitettävä huomiota vesitiiveyteen. (Kattoliitto ry 2019, 12)

Tässä opinnäytetyössä on luokiteltu neljä eri katon rakentamistapaa, joiden vertailuun keskitytään tässä opinnäytetyössä. Todellisuus ei kuitenkaan ole näin lokeroitu, sillä eri tapoja yhdistellään luovasti.

2.2 Paikalla rakennettu katto

Paikalla rakennettu katto soveltuu kaikille kattomuodoille ja kaltevuuksille. Kuvassa 4 on esitetty harjakaton pilari-palkkirunko. Runkomateriaalina voi olla sahatavara, liimapuu, kertopuu tai näiden yhdistelmät.



KUVA 4. Toteutus esimerkki katon pilari-palkkirungosta. (MetsäWood Oy 2017)

Kun rakennuksen runkotyöt ovat valmiit, voidaan aloittaa kattotyöt. Asennetaan putoamissuojat, mikäli ne tarvitaan, tai katon muoto sen sallii. Nostetaan materiaali ja työkalut holville, kiinnitetään alasidepuut ja rakennetaan kantava pilari-palkkirunko, asennetaan kanavat ja lämmöneristeet, sitten katemateriaalista ja kattomuodosta riippuen aluskate ja korotusrima (Rakennustieto 2014, 9).

Tavanomainen paikallarakentamisen sovellus on kerrostalon matala pukkikatto, jossa kattokaivon ympärille tehdään puinen tukikehikko, jonka neljästä kulmasta johdetaan katon kaatoa varten ohjauspuut ja joiden päälle ponttilauta ja vesikate asennetaan. Ohjauspuut tuetaan holviin tarpeen mukaan riittävän tuen saamiseksi vesikatteelle (Kostamo 2018, 21).

Paikallarakentaminen vaatii enemmän mittaamista ja ammattitaitoa kuin naulalevyristikoin toteutettu pukkikatto, koska naulalevyrakenteisessa katossa katon muodot on jo tehty naulalevyristikkoon. Paikallarakennetun katon materiaalikus-

tannukset ovat pienimmät, mutta työvoimakustannukset suurehkot. Rakentamistavan etu on, että katolle ei tarvitse tehdä suuria tai vaikeita nostoja (Kostamo 2018, 36; Karhu 2022; Nurminen 2022).

Kattorakenteiden suunnittelussa tulee huomioida stabiliteettiin liittyviä seikkoja. Hoikkuudestaan johtuen kattorakenteet tarvitsevat tavallisesti kiepahdus- ja nurjahdustuenta, jotta rakenteen kantokyky voidaan hyödyntää kokonaisuudessaan. Vesikatetta kantavan palkin kiepahdus sekä nurjahdus poikkileikkauksen heikommassa suunnassa voidaan estää helposti palkiston päällä olevalla levytyksellä, joka usein toimii myös sekundäärirakenteena välittäen pystysuuntaisen kuormituksen palkistolle. (Puuinfo Oy 2020) Pystyrakenteet tuetaan tarvittaessa nurjahdusta, sekä tuulesta ja lisävaakavoimasta aiheutuvia vaakavoimia vastaan.

2.3 Pukkikatto naulalevyristikoilla

Naulalevyristikoin toteutettavan pikkikaton rakentaminen tapahtuu alasidepuiden päälle. Alasiteisiin mitataan ristikoiden paikat ja mikäli ristikot kiinnitetään kulmalevyin, asennetaan ristikon yhden puolen kulmalevyt paikoilleen ristikon kohdistamista ja asentamista helpottamaan. Tehdasvalmisteiset NR-pukkiristikot nostetaan holville mahdollisimman lähelle asennuspaikkoja (kuva 5), ja kiinnitetään kulmalevyillä tai reikänauhalla paikoilleen (Rakennustieto 2014, 14).



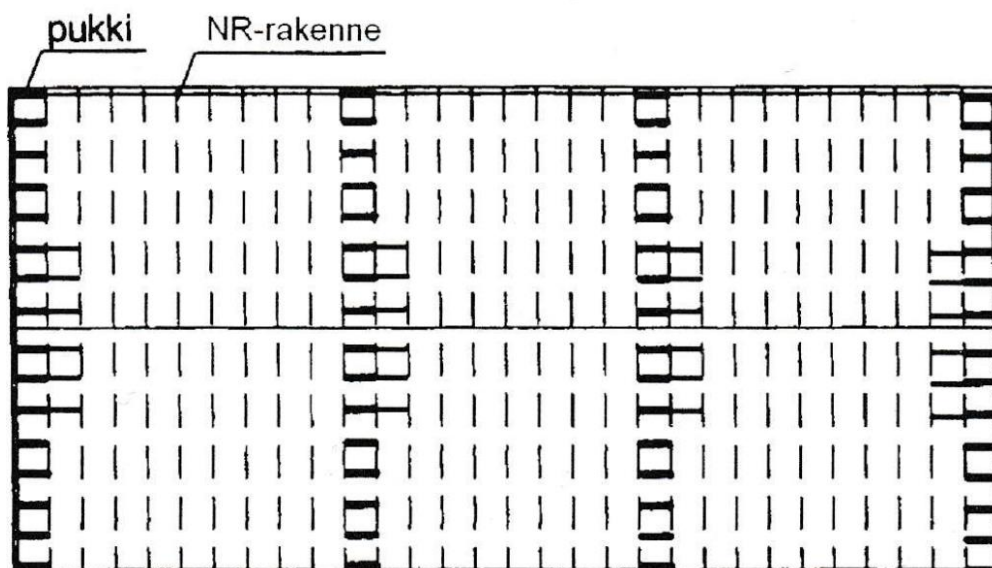
KUVA 5. Ristikkonipun nosto holville. (Koskela 2014, 10)

Ristikon pitkittäissuuntainen tuenta on kunnossa sellaisenaan, mutta poikittainen tuenta on rakennettava työmaalla. Ristikot on reivattava, jotta ne pysyvät pystyssä, ja merkityt sauvat on nurjahdustuettava. Merkinnot löytyvät itse ristikosta sekä ristikkosuunnitelmasta: usein nurjahdustuettavat sauvat on merkitty maalilla. Tavallisesti ensimmäinen ristikko tuetaan täsmälleen suoraan, ja muut ristikot tuetaan tähän ristikkoon ja lopuksi asennetaan suunnitelmien mukaiset jäykisteet (kuva 6). (Rakennustieto 2014, 15)



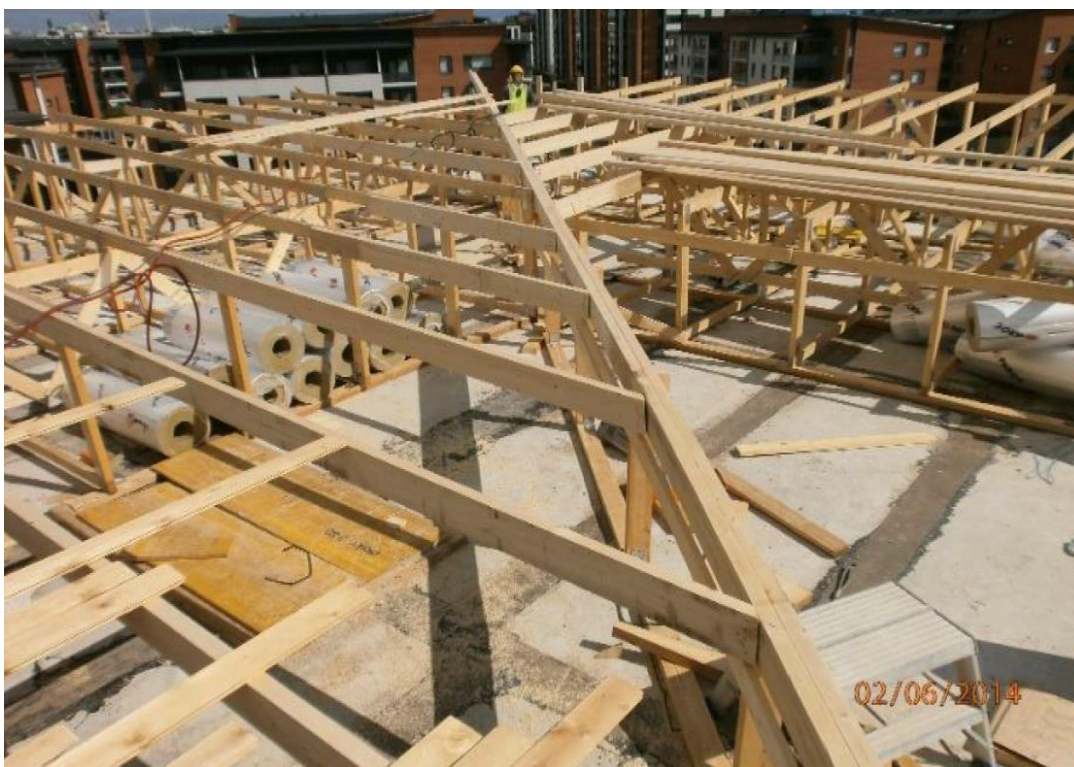
KUVA 6. Ensimmäisen ristikon asennus. (Koskela 2014, 11)

NR-pukkikaton jäykistys on erittäin tärkeä huomioitava, sillä rakenne on aina itsessään erittäin hoikka. NR-pukkikattojen tuennassa huomioidaan ruoteet tai vesikatevaneri yläpaarten kiepahdusvoimia siirtävinä. Nämä voimat ovat NR-ristikon suhteen poikittaisia, ja ne on siirrettävä alapaarretasoon. Tähän tuentaan käytetään tavallisesti pukkijäykistystä. Pukit on asennettava niin tiheään, että niille ei välity voimia yläpaarten kautta, vaan voimien on siirryttävä esimerkiksi katevanerin kautta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2008)



KUVA 7. Periaatekuva pukkijäykistyksestä. Harjan lähellä pukkeja sijoitetaan kahteen peräkkäiseen väliin NR-rakenteen lisäkuormituksen pienentämiseksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2008, 29)

NR-ristikoilla voidaan toteuttaa erittäin monimuotoisia kattoja, ja korkeita rakenteita saadaan nopeammin pystyyn kuin paikalla rakentaen tehdasvalmistuksen ansiosta. Kuvassa 8 toteutetaan ulkojiirillistä kerrostalon katon runkoa.

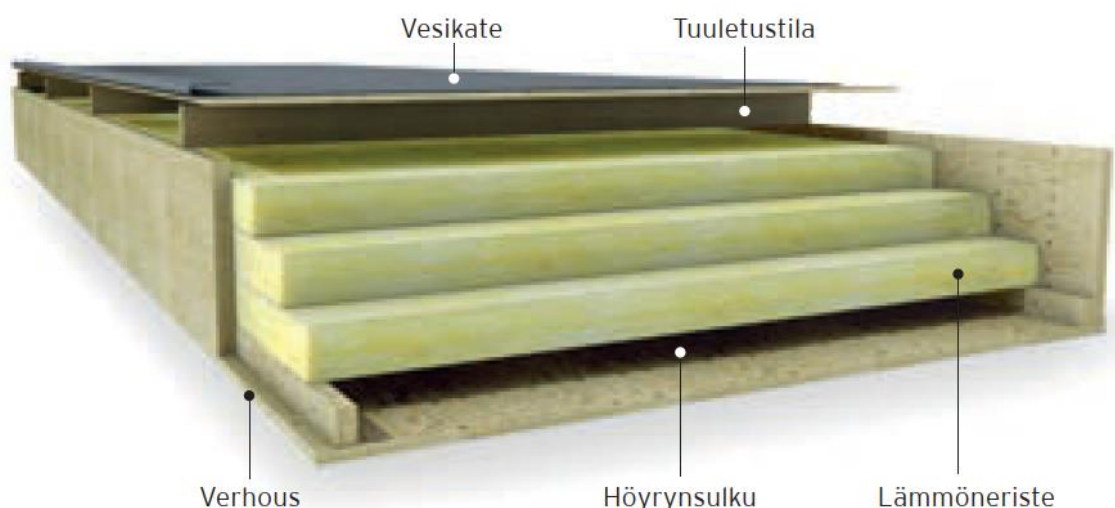


KUVA 8. Vesikattojiirin teko on käsityötä myös NR-pukkikatossa. (Koskela 2014, 15)

Naulalevyristikoin toteutettavat pukkikatot voidaan rakentaa kokonaan holvilla tai ne voidaan rakentaa kattolohkoina maassa. Tästä rakennustavasta kerron lisää myöhemmin luvussa 2.5.

2.4 Kattoelementit

Kattoelementeillä voidaan toteuttaa nopeasti suuria vesikattopinta-aloja, koska yhdellä kertaa saadaan paikalleen niin lämmöneriste, vesikate kuin höyrynsulku-kin. Elementeissä on vesikate (pintakermi joudutaan hitsaamaan erikseen), lämmöneristeet, höyrynsulku ja sisäpuolinen verhouslevy valmiina (kuva 9).



KUVA 9. Tuulettuvan suurkattoelementin periaatekuva. Elementtien rakenne vaihtelee hieman valmistajakohtaisesti. (Suomen liimapuu yhdistys ry ja Puuinfo oy. n.d., 41).

Asennusta varten tarvitaan tukirakenteiksi esimerkiksi pilari-palkki-linja yläpohjaan, joka elementtien valmistajasta riippuen voidaan toimittaa kattoelementtitoimituksen mukana ja joka asennetaan holville (kuva 10). Tukirakenteina voidaan käyttää myös esimerkiksi NR-rakenteita. Jännevälin määrittelee katon muoto, asennusalustan pistekuormankesto sekä osastointi. Usein yhdistellään esimerkiksi NR- ja seinärakenteita, jolloin seinälinjoilla saadaan osastointi hoidettua ja NR-kentälle harva jako. Nämä mahdollistavat nopean toteutuksen. (Kimonen 2022.)



KUVA 10. Kattoelementin tukiseinät lähes valmiina. (Salopelto 2019)

Kattoelementeissä käytetään elementin kantavana palkkina liimapuu- tai LVL-palkkeja, joiden väliin kiinnitetään yleensä sahatavarasta tehdyt välipalkit. Välipalkkeihin kiinnitetään alapinnan levytykset ja höyrynsulkumuovi ja niiden päälle asennetaan lämmöneristeet. Tuulettuvassa elementissä palkkien yläpintaan asennetaan tuuletustilan palkit, joiden päälle tulee levytys ja vesikate, joka on bitumikermi tai pvc-kate, kuten kuvassa 11. Perinteiset tuulettuvat kattoelementit ovat yleensä 18–24 m pitkiä, n. 2,5 m leveitä ja 400–750 mm korkeita. (Liimapuu-käsikirja Osa 1. n.d., 41).

Elementoita voidaan myös muuta katon osia, kuten räystäitä. Kattoelementtejä voidaan tehdä myös ilman lämmöneristettä eli ns. kylmiä elementtejä.



KUVA 11. Kattoelementin asennus käynnissä. (Kilpeläinen, M., Ukonmaanaho, A. & Kivimäki, M. 2001)

2.5 Kattolohkot

Katon rakentaminen lohkoina tehdään työmaalla rakennuksen vieressä maassa, eli menetelmä vaatii tilaa, jonka on oltava tasaista. Menetelmässä NR-pukkikatto rakennetaan lohkoina maassa tukevalla alustalla. Yhden lohkon enimmäiskoko n. 10 x 15 metriä (Teriö 2003, 33). Lohkoihin asennetaan tarvittavat kaatumisnurjahdus- ja nostonaikaiset tuet sekä kaikki rakenteet, jotka voidaan asentaa ennen yläpohjalle nostoa. Näitä voivat olla esimerkiksi räystäät, putoamissuojat, suuret ilmanvaihtoputket, vesikatealusta ja jopa vesikatemateriaali.

Lohkot voidaan valmistaa myös tehtaassa, jolloin olosuhteet ovat hallittuja ja tuotannon laatu näin ollen parempi. Tehdasvalmisteisten kattolohkojen kokoa rajoittaa kuitenkin kuljettaminen työmaalle, ja ne eivät voi olla kovin suuria.

Katemateriaalista riippuen päätetään, tehdäänkö katto valmiiksi maassa vai aluskatevaiheeseen asti. Kuvissa 12 ja 13 on huopakatteen pohjakermi asennettuna.



KUVA 12. Kattolohkojen saumoihin jätetty bitumihuovan liitosvarat lohkojen yhteenliittämistä helpottamaan. (Heikkilä 2012)

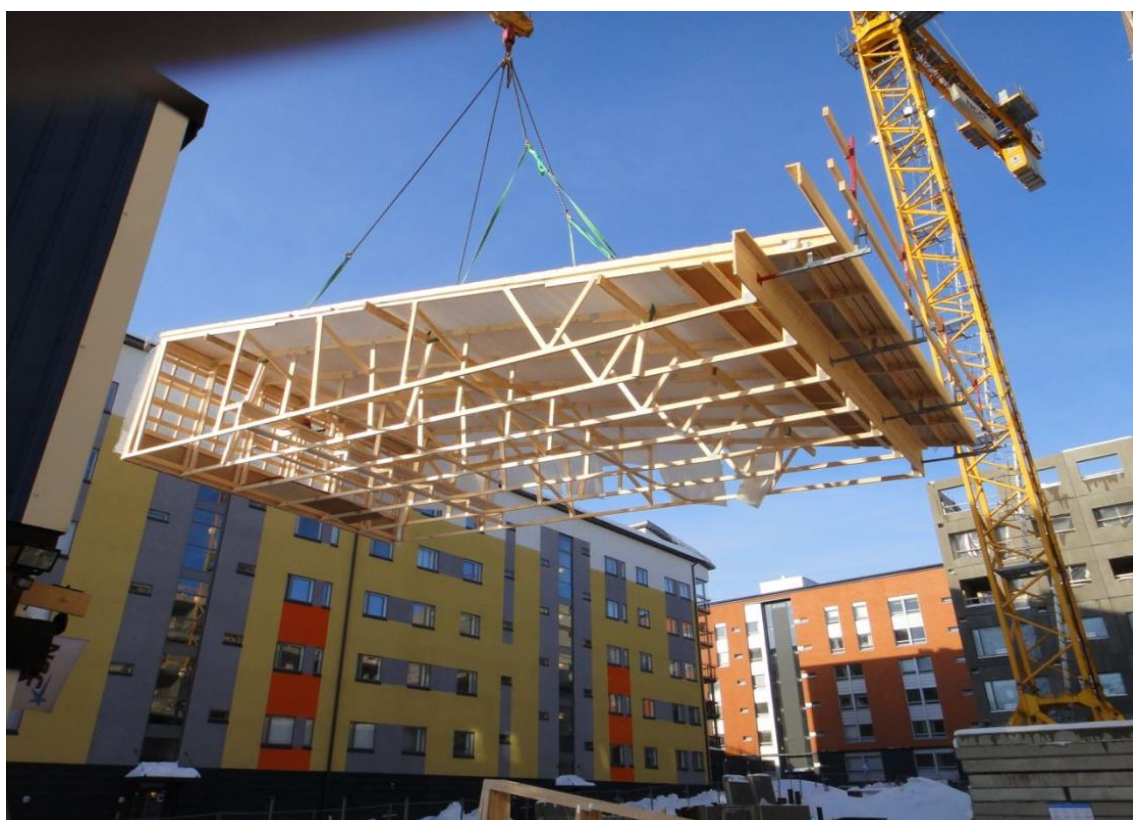
Myös peltikattoja on asennettu maassa lohkoihin, mutta tiilikatossa katemateriaali asennetaan yleensä vasta lohkon nostamisen jälkeen. Tiilikatto tuo lohkoon paljon lisäkuormaa, ja tiilet on hankalaa saada pysymään paikallaan noston aikana. Peltikaton asentamisesta lohkoon maassa kannattaa myös neuvotella peltikatteen tekijöiden kanssa, koska tekijä saattaa haluta asentaa peltikatteen vasta noston jälkeen. Mikäli peltikate asennetaan maassa, lohkojen välisten saumojen teko voi olla hankalaa konesaumatussa peltikatteessa. (Mäkelä 2012, 10)



KUVA 13. Ulkojiirillinen vesikattolohko, jossa pohjakermi asennettuna. (Heikkilä 2012, 7)

Sivuräystäiden alalautoituksen asentaminen maassa on nopeampaa ja turvallisempaa kuin ylhäällä telineillä. Sama pätee päätyräystäisiin, jotka pystytään rakentamaan lähempänä maata.

Lohkon paikka merkitään yläpohjalle, jonka jälkeen se nostetaan paikalleen (kuva 14). Lohkon paino tai nostokaluston kapasiteetti on tiedettävä noston tai lohkon mitoittamiseksi.



KUVA 14. Pulpettikaton 6-pistenosto puisilla nostopalkeilla, jotka jätetään paikalleen. (Mäkelä 2012, 5)

Menetelmällä voidaan saavuttaa merkittäviä aikataulusäästöjä, kun kattolohkot valmistetaan maassa mahdollisimman valmiiksi runkovaiheen aikana ja nostetaan ylös runkovaiheen valmistuttua. Lohkojako kannattaa suunnitella palokatkosten mukaan. Lohkojen välillä NR-ristikoiden tuenta ei saa katketa, vaan sen on jatkuttava yhtenäisenä läpi katon. Lisäksi lohkojenvälisiin liitoskohtiin on kiinnitettävä huomiota suunnittelussa, jotta lohkojen keskinäistä liikettä ei pääsisi syntymään saumojen kohdilla (Kuva 15) (Kostamo 2018, 5).



KUVA 15. Vaneritäytteen asennus kattolohkojen saumaan. (Heikkilä 2012)

Haasteena menetelmässä on ennakointi ja esteiden väistely yläpohjassa. Esteitä voivat olla esimerkiksi julkisivun elementtituet, hissikulut, IV-konehuoneet tai erinäiset holville rakennetut tuotantotavasta johtuvat aukkojen peitteet.

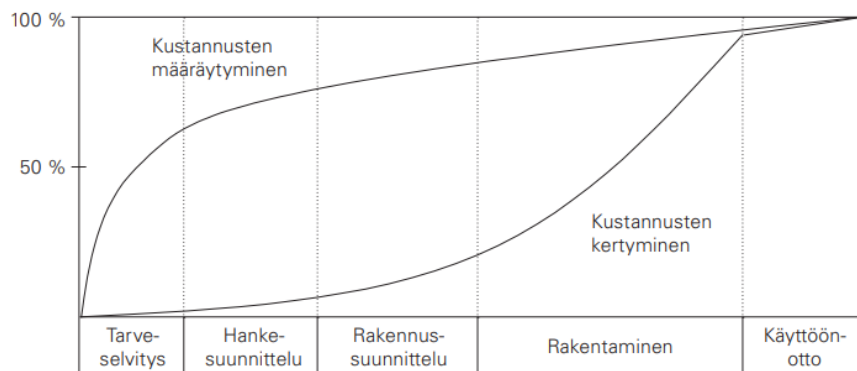
3 RAKENNUSTAPOJEN VERTAILU

3.1 Kustannukset

3.1.1 Kustannustieto hankkeen varhaisissa vaiheissa

Rakennushankkeen kustannukset määräytyvät pääosin suunnitteluvaiheissa ja toteutuvat pääosin rakennusvaiheessa. Hanke alkaa tarveselvityksellä, minkä tarkoitus on perustella tilahankinnan tarpeellisuutta tai olemassa olevan tilan muutostarvetta. Tarveselvityksessä määritellään toiminnan tarpeiden kannalta tarkoituksenmukainen toimintaympäristö. Selvitys sisältää alustavan tilaohjelman, kuvauksen tiloilta vaadittavista ominaisuuksista sekä hankkeen toteutusai-kataulun. Selvityksen perusteella päätetään, voidaanko ja kannattaako rakennus-hankkeeseen ryhtyä. Mikäli hanke päätös tehdään, tarveselvitys on suunnitte-luohje ja kehys jatkotoimenpiteille. (Junnonen & Kankainen 2020, 18)

Suurin osa rakennushankkeen kustannuksista määräytyy jo tarveselvitysvai-heessa (kuva 16), koska se määrittelee karkeasti rakennuksen koon ja muodon. Kun keskitytään katon rakentamisen kustannuksiin, voidaan havaita, että tarve-selvityksen alustavan tilaohjelman perusteella saadaan kustannuslaskentaa var-ten katolle pinta-ala sekä arvio toiminnan edellyttämästä talotekniikan laatuta-sosta. Tämä vaikuttaa esimerkiksi talotekniikan vaatiman tilan arvioinnissa katon rakennusjärjestelmää valitessa.



KUVA 16. Rakennushankkeen kustannusten määräytyminen. (Junnonen & Kankainen 2020, 58)

Tarveselvitysvaiheessa arvioidaan hankkeen kustannuksia tyypillisesti viitekohde-, erokustannus- tai tilalaskentamenettelyllä (kuva 17). Viitekohdemenetel-lyssä hyödynnetään aiemmin rakennetun vastaavan kohteen toteutuneita kus-tannuksia, ja käytetään kustannustietoa joko sellaisenaan tai indeksillä korotet-tuna. Tilastomenettely perustuu usean viitekohteen tietoihin, jossa verrataan han-ketta useisiin toteutuneisiin kohteisiin. Erokustannusmenettelyssä huomioidaan kohteen erityispiirteet siten, että tavanomaisissa rakennusosissa hyödynnetään viitekohdemenetel-lyä, mutta hankkeelle yksilölliset osat arvioidaan erikseen, ja niistä voidaan pyytää erillisiä arvioita. Tällainen voi olla esimerkiksi poikkeuksel-linen vesikatto.

Hankkeen vai-he	Vaiheessa määritellään	Haetaan vastausta	Kustannuslaskentamene-telmät	Tulosteita
Tarveselvitys	Tilahankinnan tarpeellisuus	Millaisia tiloja tarvitaan? Kuinka paljon tiloja tarvitaan?	Viitekohdemenetel-ly Erokustannusmenettely Tilastomenettely	Tilaluettelo Tilaohjelma Tilojen ominaisuudet Aikataulu Kustannuspuite
Hanke-suunnittelu	Hankkeen toteutus-tapa, kustannusar-vio, aikataulu	Millaisella hankkeella tilatarpee-seen vastataan?	Tilalaskenta Tavoitehintamenettely Viitekohdemenetel-ly	Hankeohjelma Tilaohjelma Rakennustapaselostus Hankkeen kustannusarvio
Rakennussuun-nittelu	Suunnitteluratkai-sut, niiden kustan-nusvaikutukset	Millaisella suunnitteluratkaisuil-la hankesuunnitelman tavoitteet saavutetaan?	Tavoitehintalaskelma Rakennusosalaskenta Tuoteosalaskenta	Pääpiirustukset Rakennusselostus Huoneselostus LVIS-selostukset

KUVA 17. Rakennushankkeen eri vaiheissa pääsääntöisesti käytetyt kustannus-laskentamenettelyt. (Koskenvesa, Sahlstedt, Mäki & Lahtinen 2018, 50.)

Hankesuunnitteluvaiheessa hanke tarkentuu tarveselvityksen tavoitteiden poh-jalta, ja hankesuunnitelman perusteella tehdään investointipäätös. Hankesuunni-telma muodostuu projektiohjelmasta ja hankeohjelmasta. Projektiohjelmassa esi-tetään hankkeen läpiviennille asetetut tavoitteet ja hankeohjelmassa hankkeen suunnittelun tavoitteet. Hankeohjelmaan kuuluu tilaohjelma, jossa luetteloidaan hankkeen tilat. Tilaohjelman yhteydessä määritetään ulko- ja sisäpuolisten raken-teiden ominaisuudet. Tiloille asetetut vaatimukset voivat kohdistua muun muassa tilan korkeuteen, ääneneristävyyteen, valoon, sisäilmastoon, sähkötekniikkaan, pintarakenteiden ominaisuuksiin sekä kaluste- ja varustetasoon. (Junnonen & Kankainen 2020, 24–25)

Hankesuunnitelman kustannusarvion lähtötietoina ovat tilanhankintatapa ja sitä vastaava tilaohjelma, tilojen ominaisuudet, rakennuspaikan olosuhteet ja rakennuspaikkakunta. Jo alustava laajuustieto ja laatutaso antavat lähtötiedot alustavalle kustannusarviolle. (Koskenvesa ym. 2018, 54)

Ilmanvaihtokonehuoneen, lämmönjakohuoneen ja sähköpääkeskuksen sijainti vaikuttaa merkittävästi rakennuksen lopulliseen talotekniikkaan sekä sen sijoittamiseen rungossa. Lisäksi kiinteistön edellyttämän energiatarpeen täyttäminen, erityisesti tilavarauksiltaan suurempien ratkaisujen soveltuvuus on selvitettävä riittävän ajoissa (Hallikainen 2020, 12). Katon osalta näistä erityisesti ilmanvaihtokonehuone ja putkilinjat sekä esimerkiksi aurinkopaneelit ovat merkittäviä tekijöitä.

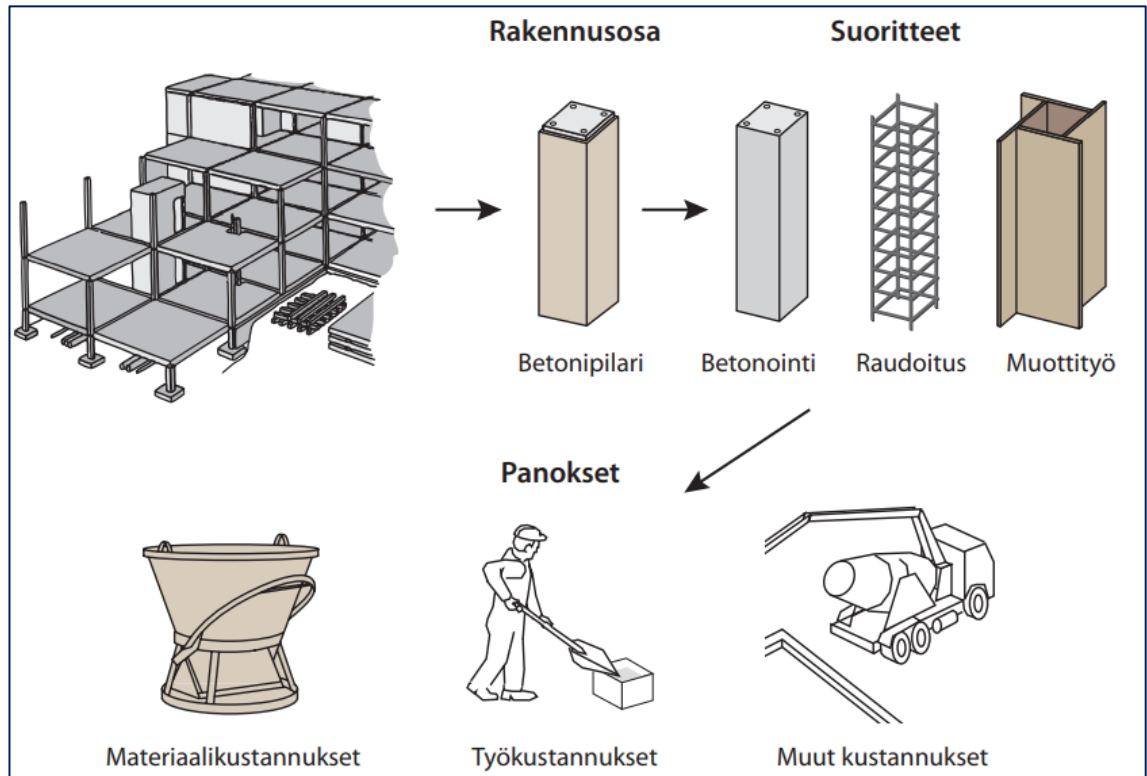
Rakennushankkeen suunnittelun varhaisissa vaiheissa tiedot ovat vielä hyvin ympäripyöreitä eikä yksityiskohtia ole määritelty eikä välttämättä rakennukselle ole määritelty minkäänlaista muotoa, mutta joitain karkeita tietoja katon kustannuksiin liittyen on jo saatavilla:

- rakennuksen suuruusluokka ja kerrosmäärä (katon koko)
- tontin koko (asennustapa)
- kaavamääräykset (katon muoto)
- aikataulu (asennustapa)
- rakennuksen käyttötarkoitus (talotekniikan tilantarve yläpohjassa, jännevälit)
- kustannusraamit (katon muoto)

Erilaisten katon rakennejärjestelmien ja asennustapojen kustannuksia kannattaa miettiä erilaisilla reunaehdoilla: minkä levyisiä kattoja saadaan taloudellisesti rakennettua ja mikä rakennejärjestelmä sopii parhaiten kunkin muotoiselle katolle ja miten paljon tekniikkaa mahtuu vesikaton alle, ja miten tämä on huollettavissa. Huollettavuus vaikuttaa rakennuksen käytön kustannuksiin.

Mikäli tiedetään katon olevan erittäin haastavan mallinen, kustannustiedon hankintaa varten yläpohja voidaan suunnitella pidemmälle (ARK, RAK ja TATE), ja

silloin yläpohjan rakentaminen voidaan laskea suoritepohjaisesti. Suoritepohjaisen laskennan periaate esitetään kuvassa 18. Tällöin tarvitaan palkeille ja risti-koille dimensiot, yläpohjan rakennetyypit, vesikaton tasopiirustukset (ARK ja RAK) sekä leikkaukset ja liittymädetaljit. (Minkkinen 2022).



KUVA 18. Suoritepohjaisen laskennan suoritteet ja panokset. (Koskenvesa ym. 2018, 45.)

3.1.2 Suunnittelun vaikutus kustannuksiin

Hankesuunnittelusta edetään rakennussuunnitteluun, jolloin varsinainen suunnittelu alkaa. Rakennussuunnittelu jaetaan useampiin vaiheisiin, jotka ovat ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu.

Ehdotussuunnittelu

Rakennuksen muoto ja toimintojen sijoittaminen päätetään ensimmäisenä ehdotussuunnitteluvaiheessa, jossa työstetään samanaikaisesti useita ehdotuksia hankesuunnitelman toteuttamiseksi. Ehdotussuunnitteluvaiheen kustannusten

arviointi vaatii paljon asiantuntemusta ja yhteistyötä, sillä lähtötiedot ovat vielä suuntaa antavia. Kustannuslaskijan tulisikin tehdä työtä yhdessä rakennuttajan tai jonkun henkilön kanssa, joka on hyvin perillä suunnitteluratkaisuista ja niiden toteutuksesta. Ehdotussuunnittelun jälkeen valitun ratkaisun perusteella käynnistetään yleissuunnitteluvaihe. (Koskenvesa ym. 2018, 58)

Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa valittu ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiksi suunnitelmiksi. Yleissuunnitteluvaiheessa suunnitellaan muun muassa rakennuksen julkisivua, vesikattoa sekä rakennuksen kantavia rakenteita sekä hahmotellaan rakennuksen tiloja ja kevyitä rakenteita. Ratkaisuvaihtoehtoja analysoidaan ja verrataan asetettuun tavoitehintaan esimerkiksi rakennusosalaskentaa käyttäen. Yleissuunnittelun tuloksena syntyy hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset. Yleissuunnitelman tulee olla sen laajuinen ja tarkkuudeltaan sellainen, että laatutaso voidaan määrittää toteutuskustannusten edellyttämällä tavalla. (Koskenvesa ym. 2018, 58–59)

Yleissuunnittelun pääpiirustusten perusteella haetaan rakennuslupa. Vesikattoon tässä vaiheessa liittyviä piirustuksia ovat pääpiirustus, julkisivupiirustukset sekä arkkitehdin vesikattopiirustus. Vähintään katon ulkoasu ja katemateriaali on siis päätetty tässä vaiheessa.

Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa täydennetään rakennukseen tulevat materiaalit ja rakeneosat. Hankkeen ja suunnitteluratkaisujen kustannuksia voidaan tässä vaiheessa tarkastella rakennusosalaskennan avulla. Ainutkertaisten yksityiskohtien määrä vaikuttaa kustannuksiin, jolloin kustannuslaskijan tulee käydä suunnittelijoiden kanssa läpi, missä määrin käytetään toimittajien vakioratkaisuja ja missä määrin on tarkoituksena luoda ainutkertaista yksityiskohtia. Toteutussuunnittelun lopputuloksena ovat suunnitelmat, joilla rakennustyö voidaan toteuttaa. (Kosken-

vesa ym. 2018, 59) Yksi näistä dokumenteista on rakennesuunnittelijan vesikatopiirustus, jonka perusteella vesikatto voidaan toteuttaa. Tällöin rakennejärjestelmä on valittu, ja se voi olla esimerkiksi NR-pukkikatto. Hankemuodosta riippuen urakoitsija on voinut vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan.

Kaikessa elementoinnissa toistuvuus pienentää kustannuksia niin suunnittelussa kuin tuotannossakin. Esimerkiksi jokainen erilainen NR-ristikko on suunniteltava erikseen. Näin ollen yksinkertaisen mallisen katon kustannukset ovat edullisemmat myös suunnittelussa.

3.1.3 Rakentamisvaiheen kustannukset

Koska vertailtavissa kattotyypeissä orsirakenne on korkealla eli vesikaton alla mahtuu kävelemään, rakenne ei ole tavanomaisin, eikä sille löydy valmiita menekkejä Rakennustiedon RT-kustannuslaskenta -ohjelmistosta tai saman kustantajan ja Mittaviiva Oy:n tekemän Rakennusosien kustannuksia -kirjasta. Kustannuksien ennakointiin tarvitaan osaamista ja se pitää selvittää kyselemällä.

Haastattelin kustannusasiantuntija Antti Minkkistä FMC Laskentapalvelut Oy:stä katon kustannuksiin ja niiden arviointiin liittyen. Hän on työskennellyt määrä- ja kustannuslaskennassa yhteensä 10 vuotta. Hänen mukaansa tavanomaisia toteutusratkaisuja käytettäessä hinta on arvioitavissa hankkeen varhaisessakin vaiheessa melko varmasti, koska voidaan soveltaa viitekohteita. Kuitenkin pinta-alan kasvaessa tarkkuus saattaa heiketä: pienikin yksikköhinnan heitto voi vaikuttaa suuresti. Toinen kustannusarvion tarkkuutta heikentävä tekijä on Minkkisen mukaan erikoisempi rakennustapa. Suurin selittävä tekijä näissä on tarjousten määrä. Mitä vähemmän saadaan työvaiheen toteuttamiseen tarjouksia, sitä korkeampia ovat toteutuvat hinnat.

Tarjousten saamiseen voi Minkkisen mukaan olla alueellista vaihtelua; jollain kaupunkiseudulla voi olla tavanomaisempaa toteuttaa jokin rakenne yhdellä tapaa ja toisaalla toisella tapaa. Tämä vaikuttaa myös tarjousten saamiseen ja hintaan. Mitä enemmän tarjouksia saadaan, sitä alhaisempi voi olla kustannus.

Minkkinen toimitti minulle eri toteutustapojen (paitsi kattoelementtien) vertailukelpoiset neliöhinnat. Hintoihin sisältyy koko yläpohja sisältäen ontelolaatan, ilman vesikatetta ja ne on laskettu 21.3.2022 rakennuskustannusindeksillä 114,4. Hinnat sisältävät työn kustannukset sosiaalikuluihin sekä materiaalit. Hinnat eivät sisällä osuutta työmaakatteesta, suunnittelusta, työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksista eikä varauksista.

TAULUKKO 1. Neliöhinnat eri kattotyypeille.

Paikallarakennettu pukkikatto	n. 200 € /m ² alv 0 %
Pukkikatto naulalevyristikoilla	n. 190 € /m ² alv 0 %
Kattolohkot	n. 170–180 € /m ² alv 0 %

Haastattelin myös projektipäällikkö Markus Karhua Arkta Rakennus Oy:stä (2022) rakennejärjestelmän valintaan liittyen. Hänen mielestään kustannukset ovat melko samaa tasoa kaikilla valitsemillani rakentamistavoilla, ja paikallarakennettu pukkikatto saattaa olla halvin ja elementtikatto kallein. Hänen mukaansa kuitenkin NR-pukkikaton kilpailukyky paikallarakennettuun pukkikattoon verrattuna paranee, kun ristikoissa on paljon toistuvuutta. Tällöin niiden suunnittelukustannukset pienenevät.

Mira Kostamo vertaili mestarityössään (2018) puisten kattorakenteiden hintoja ja toteutustapojen vaikutusta aikatauluun. Vertailut tehtiin työmaan todellisia kustannuksia ja aikatauluja käyttäen. Vertailtava työsuorituksen lähtökohta oli höyrynsulkukermi holvilla, ja päätepiste vesikaton vesitiiviys – joka ei tarkoita valmista vesikattoa. Työssä vertailtiin mm. paikallarakennettua pukkikattoa ja kattolohkoja. Rakennustavat olivat lähes samanhintaisia, mutta sääsuojan käyttö paikallarakennetussa katossa nosti sen toteutuksen kustannuksia. Merkittävä huomio työssä on katevanerin käytön hankaluus ja arvokkuus verrattuna ponttilaataan.

Työmenekkiin vaikuttavia tekijöitä

Edellä mainittuja neliöhintoja muuttavat monet tekijät. Kuvassa 19 on lueteltu joi-takin työmenekkiä suurentavia tai pienentäviä tekijöitä. Kustannuksia kasvattaa myös talon muoto ja monimuotoisuus, erityisesti jos poiketaan 90 asteen kul-masta, tai jos kattokulmat vaihtelevat (Vilanen 2022).

Muuttuja	Vaikutus työmenekkiin	
	Suurentaa	Pienentää
Sääsuojat	Huonot suojat	Hyvät suojat
Siirtomatkat	Pitkät siirtomatkat	Lyhyet siirtomatkat
Sääolosuhteet	Talvi, jää ja kura	Suotuisat olosuhteet
Työmaajärjestelyt	Ahtaat tilat yms. Suunnittelemattomuus	Siistit työkentely- ja varas- tointitilat Hyvä logistiikka ja asen- nussuunnitelma
Välivarastointi	Suunnittelemattomuus, asennettavan materiaalin puute	Asennusjärjestyksen huomiointi varastoinnissa
Nostokone	Hidas nostokone	Hyvä ja tehokas nosto- kone Tarkka nostokoneenkul- jettaja
Työvälineet	Vääränlaiset työvälineet Tehottomuus	Työtehtävien mukaiset työvälineet
Orsirakenteen korkeus	Korkea	Matala
Räystään muoto	Paljon kulmia, vaikea käsitellä	Vähän kulmia, helppo käsitellä
Aukkojen lukumäärä	Paljon aukkoja Kattoikkunat	Ei aukkoja Yhtenäiset pinnat
Katealustatyyppi	Umpilaudoitus	Harvalaudoitus
Työnjohto ja työryhmän	Kokemattomuus Uusi ryhmä	Ammattitaito Tuttu työryhmä
Asennuskorkeus	Henkilönostimien käyttö, liikkuminen telineillä tai työalustan siirrot	Maantasolla työskentely, yhdellä kerrostasolla työskentely

KUVA 19. Eri muuttujien vaikutus työmenekkiin. (Rakennustieto 2014, Ratu 0423, 5)

3.2 Työmaa-aika

Tässä osiossa vertaillaan eri rakennustapojen vaikutusta työmaan aikatauluun. Aikataulu vaikuttaa vahvasti myös kustannuksiin. Keskikokoisen kerrostalotyömaan ylläpitäminen maksaa keskimäärin 2 500 € päivässä (Mäkelä 2012, 15). Kahden viikon aikataulusäästö vastaa näin ollen 20 000 €.

Työmäärän vertailun vuoksi laskin RT-kustannuslaskenta -ohjelmistolla työmenekit 490 m² suuruiselle kerrostalon katolle paikallarakennetulle pukkikatolle ja NR-ristikoin toteutetulle pukkikatolle. Laskenta esitetään liitteessä 1. Työvaiheen aloittavat työt laskin käsin. Niitä ovat tavaran vastaanotto ja välivarastointi, mitaus, siirrot, nostot, käsinsiirrot ja materiaalsiirrot. Laskenta esitetään liitteessä 2. Tulokset esitetään taulukoissa 2 ja 3. Vertailua voidaan pitää suuntaa antavana.

Laskelmien perusteella vesikaton rungon tekemisen työmenekki on 57 % suurempi paikalla rakentaen kuin NR-pukkikatossa. Koko katossa (pl. räystäät) työmäärän ero on enää 28 %.

3.2.1 Paikallarakennettu pukkikatto

Tässä toteutustavassa paikalla tehtävän työn osuus on suurin vertailtavista vaihtoehtoisista (Karhu 2022).

Kostamon (2018) vertailussa vesikaton rakentaminen kesti räystäineen ja huopatineen kuusi viikkoa. Katon puutöihin aikaa kului kolme viikkoa ja kolme päivää neljän hengen työryhmällä. Sääsuoja oli käytössä koko kuuden viikon ajan. Kattoneliöitä talossa on 490 m².

Työmäärän laskenta

Laskennan perusteella katon tekeminen (pl. räystäästyöt) kestää lähes kolme viikkoa (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Työaikalaskelmat paikallarakennetulle pukkikatolle.

Työvaihe	Työmenekki t4	Työryhmä	Kokonaiskesto
Vain vesikattorunko	238,26 tth	3 RAM + 1 RM	7,44 päivää
Koko katto (pl. räystäät)	475,09 tth	3 RAM + 1 RM	14,85 päivää

3.2.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla

Tämä on nopeampi tapa kuin paikallarakennettu pukkikatto. Aikataulua ja asennusta voivat haitata kuljetuksen aiheuttamat kokorajoitukset, jolloin korkeuden vuoksi voidaan tarvita päällekkäiset ristikot. Tästä huolimatta NR-pukkikaton rakentaminen on nopeampaa kuin paikallarakennetun. Ristikon katkaisu pituus-suunnassa ei oikeastaan vaikuta työsuoritukseen lainkaan. (Karhu 2022)

Naulalevyristikoiden esivalmistusastetta voidaan nostaa: räystäät voidaan maalata jo tehtaalla sekä turvakaiteen asentamista varten voidaan porata reiät valmiiksi jo tehtaalla, joka vahvistaa ne tarvittaessa reiällisin naulalevyin, suunnitelmien mukaan.

Palokatkot voidaan myös esivalmistaa tehtaalla, jolloin niitä ei tarvitse rakentaa holvilla.

Työmäärän laskenta

Laskennan perusteella katon tekeminen (pl. räystäästyöt) kestää kaksi viikkoa ja yhden päivän (taulukko 3).

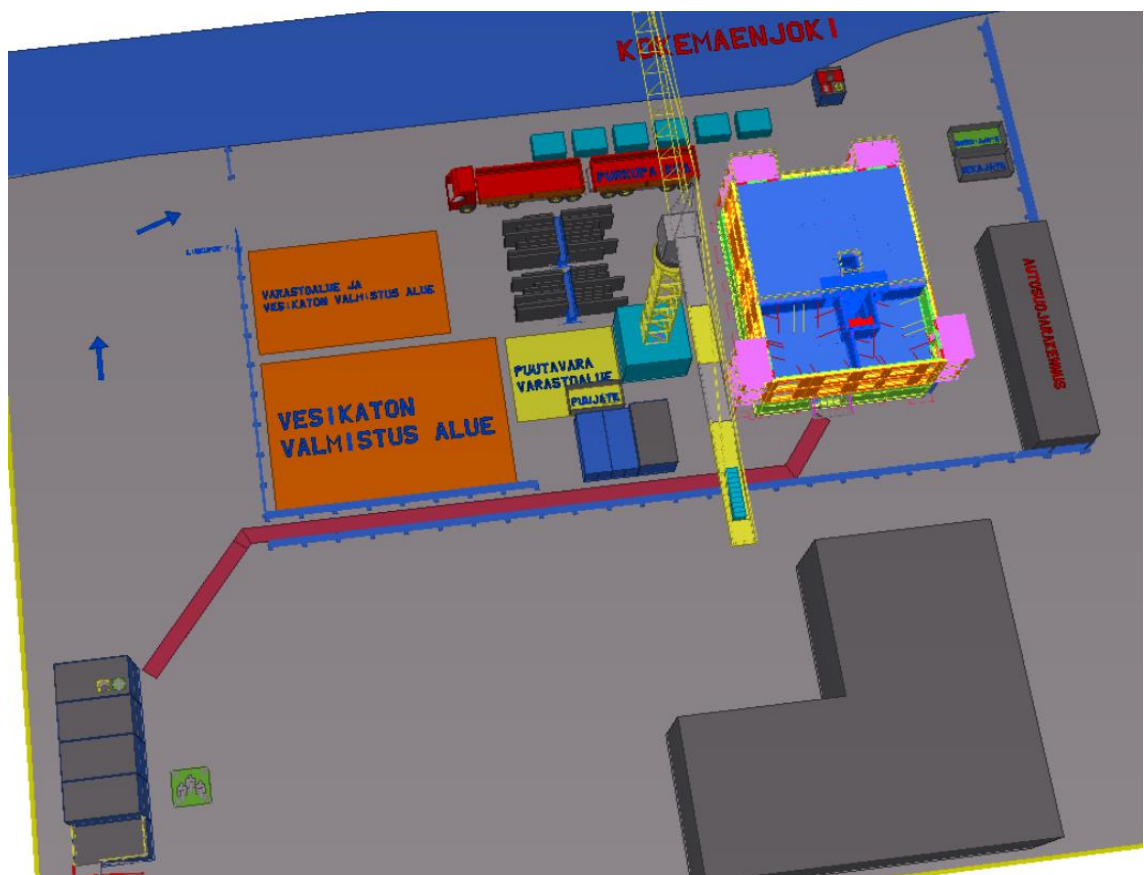
TAULUKKO 3. Työaikalaskelmat naulalevyristikoin toteutetulle pukkikatolle.

Työvaihe	Työmenekki t4	Työryhmä	Kokonaiskesto
Vain vesikattorunko	102,85 tth	3 RAM + 1 RM	3,21 päivää
Koko katto (pl. räystäät)	340,45 tth	3 RAM + 1 RM	10,64 päivää

3.2.3 Kattolohkot

Vesikaton rakentaminen lohkomenetelmällä maassa runkovaiheen kanssa samanaikaisesti lyhentää työmaan yleisaikataulua. Parhaimmillaan aikataulusäästöä voidaan saada useita viikkoja. Vesikaton jälkeiset työt voidaan aloittaa perinteistä menetelmää nopeammin ja materiaalien ja työvälineiden logistiikka on helpompaa maassa, koska niiden siirtely voidaan tehdä ilman nosturia. (Mäkelä 2012)

Toisaalta lohkojen käytön haasteita ovat sopivan tasaisen rakennuspaikan löytäminen ja työmaan muun logistiikan häiriintyminen. Nostettavat kattolohkot ovat kuitenkin melko pieniä (alle 200 m²), joten merkittävän aikataulusäästön saaminen suuressa kohteessa vaatii suuren alan maata, mikä haittaa muuta työmaalogistiikkaa (Kuva 20). (Karhu 2022)



KUVA 20. Työmaan aluesuunnitelmassa on varattu alue vesikaton valmistukseen ja varastointiin oranssilla värillä. (Heikkilä 2012)

Työmaan resursseja voidaan käyttää tehokkaammin, koska lohkoja voidaan valmistaa maassa irrallaan rakennuksen muusta aikataulusta, joten työvoimakapasiteettia voidaan hyödyntää tehokkaammin. (Kilpeläinen ym. 2001, 44). Toisaalta työn voi tehdä aliurakoitsija.

Kostamon (2018) vertailussa lohkoja rakensi 3 rakennusammattimestä ja puutyöt valmistuivat 20 työpäivässä. Lohkot voitiin rakentaa sisätiloissa.

Kun valmiit lohkot nostetaan katolle, ne täytyy kiinnittää alustaansa ja yhdistää toisiinsa, sekä saumoihin ja nostoliinujen reikiin tehdään täytteet vanerista. Täytteiden asennuksen jälkeen katto saadaan tehtyä vesitiiviiksi. (Heikkilä 2012, 30) Tähän ei tarvita monen työpäivän panosta, joten merkittävä aikataulusäästö (verrattuna paikallarakentamiseen tai NR-pukkikattoon) on mahdollinen lohkoja käyttämällä, kunhan niiden varastointiin ja rakentamiseen on tarpeeksi tilaa.

3.2.4 Kattoelementit

Kun kattoelementeille on tehty runko, jonka asentaminen seinäelementteinä ei vaadi paljoa aikaa, itse elementtien asennus on nopeaa ja vesikattoa muodostuu parhaimmissa olosuhteissa jopa 1000 m² päivässä.

Elementit voidaan valmistaa myös räystäällisinä, jolloin räystästöitä varten ei tarvita nostokalustoa tai telineitä.

Haastattelin projekti-insinööri Tapani Nurmista (2022) Skanskalta. Hänen mukaansa kattoelementtien käyttöä puoltaa mm. se, että elementin tukivälit ovat suuret, jolloin ullakolle jää enemmän tilaa ja siellä on helpompi työskennellä (myös elementtiasennuksen jälkeen) kuin pukki- tai NR-pukkikohteissa, joissa puutavaraa voi olla hyvinkin tiheässä. Samoin totesi haastattelussani (2022) rakennustöiden valvoja Antti Vilanen Sweco PM Oy:stä.

Muita elementtien etuja Nurmisen mukaan ovat toimitusten nopeus ja työmaalla tehtävän työn väheneminen elementtitoimituksen kattavuuden ansiosta. Myös aikatauluriski on muihin menetelmiin verrattuna pienempi sen vuoksi, että elementtitoimitajilla on usein oma tai sopimusasentaja eikä työvoimaa tarvitse hankkia itse.

Nurmisen mukaan elementtikattoon saadaan kaikki tarvittavat läpiviennit tehtyä jo tehtaalla, ja ajantasaisen yhdistelmä tietomallin käyttö – jossa on talotekniikan suunnitelmat – on auttanut tässä valtavasti. Läpiviennit ovat oikeilla kohdilla ja urakkarajat selkeitä. Tietomallin käytön ansiosta myös elementtien istuvuus koon ja muodon puolesta on ollut hyvä.

Kattoelementtejä käyttäen on siis mahdollista saada merkittäviä aikataulusäästöjä verrattuna paikallarakentamiseen tai NR-pukkikattoon.

3.3 Sääsuojaus ja kosteudenhallinta

Rakennushankkeelle luodaan kosteudenhallintasuunnitelma ennen rakentamisen aloittamista. Se muodostuu rakennuttajan laatutavoitteiden ja suunnittelijan laatiman suunnitteluvaiheen kosteudenhallintasuunnitelman perusteella. Suunnitelmassa tunnistetaan kohteen kosteustekniset riskit ja hankkeen kriittiset laatu tekijät. (Åström 2011, 95)

Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelu pohjautuu kosteudenhallintasuunnitelmaan. Suunnitelmassa voidaan esittää olosuhteiden osalta mm. seuraavaa:

- materiaalin ja rakenneosien suojauksen ja varastoinnin järjestäminen
- runkorakenteiden suojaaminen kastumiselta
- työnaikaisten vesivuotojen ja vesivahinkojen ennakointi ja torjuntatavat
- hyvien kuivumisolosuhteiden järjestäminen

(Åström 2011, 96)

Katon asennustavan suunnittelu on osa olosuhteiden hallinnan suunnittelua, ja tässä opinnäytetyössä keskitytään pelkästään katon osuuteen. Kattolohkoilla ja kat-

toelementeillä saadaan erittäin nopeasti vesikatto paikalleen, kun taas paikallarakennetun ja NR-pukkikaton kanssa kestää pidempään, ja olosuhdehallintaan on katon osalta kiinnitettävä enemmän huomiota.

Varmin tapa suojata rakennusta ympäröiviltä olosuhteilta on sääsuoja, mutta sen käyttö on kallista eikä aina järkevää, erityisesti mikäli runko on joka tapauksessa kostea, kuten betonitaloissa. Yleensä sääsuojaa ei käytetä. Mikäli talo rakennetaan sääsuojan alla kuten puukerrostalot meillä Suomessa, paikallarakentaminen tai NR-pukkikatto tulevat edullisemmiksi.

3.3.1 Paikallarakennettu pukkikatto

Haastatteluissani tätä pidettiin hitaimpana tapana toteuttaa katto, ja monesti ajateltiin myös, että saattaa edellyttää sääsuojan käyttöä. Eräässä kohteessa katon rakentaminen kesti kuusi viikkoa, ja sääsuojaa käytettiin koko se aika. (Karhu 2022; Kostamo 2018, 30)

3.3.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla

Ristikkokattoa saa nopeammin vedenpitäväksi kuin paikallarakennettua pukkikattoa (Karhu 2022; Nurminen 2022). Työnaikaisena sääsuojana voidaan käyttää esimerkiksi pressuja (Kuva 21).



KUVA 21. Naulalevyristikoilla toteutettavan pukkikaton työnaikainen suojaus (Koskela 2014 ,25)

3.3.3 Kattolohkot

Esivalmistetut kattolohkot voidaan nostaa rungon päälle heti runkotöiden jälkeen, jolloin runko on alttiina säärasituksille lyhyemmän aikaa. Lohkojen saumat päästään tekemään vedenpitäviksi noston jälkeen.

3.3.4 Kattoelementit

Vesikattovalmiit kattoelementit voi nostaa suoraan puisen rungon päälle, jonka jälkeen elementti saumataan (vesikate ja/tai höyrynsulku). Näin saadaan nopeasti vedenpitävää pintaa.

Virtain yhtenäiskoulu toteutettiin ilman sääsuojaa (kuva 22). Rakennuksessa on betonirunko ja hirsinen ulkoseinä. Betonirungon päälle asennettiin ensin kattoelementtien puurunko, jonka jälkeen kattoelementit asennettiin paikoilleen. (Nurminen 2022)



KUVA 22. Virtain yhtenäiskoulun kattoelementit asennettuna ja ulkoseinätyöt aloitettuna. (Virtain kaupunki 2019)

Elementtien toimitus pyritään järjestämään siten, että ne voitaisiin nostaa suoraan paikoilleen. Aina näin hyvään tilanteeseen ei voida päästä. Elementit toimitetaan tavanomaisesti muoviin käärittynä, mikä suojaa elementin sivuja säältä. Elementissä oleva aluskate tai vesikate suojaa vaakatasossa varastoitavaa elementtiä sateelta. (Salopelto 2019, 18)

3.4 Työturvallisuus

Kattotöissä korostuu putoamisen riski. Kuolemaan johtaneita putoamistapaturmia on sattunut eniten peltilevytyöissä, joita ovat yleensä kattotyöt tai työskentely katon reunalla (Rakennustieto 2007, 9). Työterveyslaitoksen (2022) mukaan rakennustyöntekijöiden yleisin tapaturmanaiheuttaja oli vuosina 2015–2019 putoaminen, hyppääminen, kaatuminen tai liukastuminen.

Vesikattorungon päällä suoritettavia töitä ovat räystäs-, vesikatto-, läpivienti- ym. työt. Vakavimpia, kuolemaan johtavia putoamisesta johtuvia tapaturmia voidaan välttää, kun putoaminen estetään. Tällöin käytetään valjaita, turvakaiteita, tai työ tehdään paikassa, jossa putoaminen on estetty, kuten ulkoseinien sisäpuolella tai maassa.

Paikallarakennetun pukkikaton ja naulalevyristikoilla toteutetun pukkikaton työturvallisuusnäkökohdat ovat melko samanlaiset. Kummassakin menetelmässä

työskennellään ylhäällä holvin päällä, ja on käytettävä valjaita, mikäli putoamis-
suojausta ei ole pystytty järjestämään. Näin voi olla esimerkiksi räystäällisten kat-
tojen kanssa (kuva 23).



KUVA 23. Kaiteiden asennusta räystäälle. (Koskela 2014, 23)

Kattoelementtien ja kattolohkojen työturvallisuuskäsitteitä yhdistää suurten
kappaleiden nostot, jotka ovat aina riskialttiita. Kuitenkin riskejä voi pienentää te-
kemällä nostosuunnitelmat ja noudattamalla niitä, jolloin nostot ovat turvallisia.

3.4.1 Paikallarakennettu pukkikatto

Turvakaiteita voidaan yleensä käyttää katon runkoa rakennettaessa, mutta ulko-
nevien räystäiden kaikkia töitä ei voida suorittaa kaiteet paikallaan, jolloin käytet-
tään valjaita.

Paikalla tehtävää ja katkottavaa on enemmän kuin muissa rakennetyypeissä.
Työturvallisuusvaikutuksia voi olla välillisesti jättemäärän vuoksi. (Karhu 2022)

3.4.2 Pukkikatto naulalevyristikoilla

Turvallisuusnäkökohdat ovat kaiteiden osalta samanlaiset kuin paikallarakenne-
tussa pikkikatossa. Katkottavaa ja kiinnitettävää on kuitenkin vähemmän kuin
paikallarakennettavassa pikkikatossa, ja jätehuolto katolta helpommin hallitta-
vissa. (Karhu 2022)

3.4.3 Kattolohkot

Lähes kaikki vesikaton työvaiheet pystytään suorittamaan maassa, jolloin ei ole
tarvetta valjaiden käyttöön (kuva 24) (Mäkelä 2012, 14).

Maassa työskentely on turvallista. Isojen kattolohkojen nosto on suunniteltava
huolellisesti. Kattolohkoihin tarttuu tuuli erittäin herkästi. (Karhu 2022) Lisäksi kai-
teet voi asentaa jo maassa, mikäli ne on tarkoitus asentaa.



KUVA 24. Kattolohkoja maassa, kokoamisalusta toisena edestä. (Heikkilä 2012, 22)

3.4.4 Kattoelementit

Kattoelementit vaativat alleen rungon, joten runkotyöt on tehtävä ylhäällä. Runkotöiden jälkeen turvallisuuskäytökohdaksi on kuin kattolohkoissakin. Koska elementit voidaan toimittaa räystäällisinä, räystäistöitä ei tarvitse tehdä ylhäällä, ja elementtien saumaukset jäävät tehtäväksi ylhäällä. Elementtiasentaja hoitaa katto-työt mieluiten valjaita käyttäen (kuva 10), jolloin kaiteita ei tarvitse asentaa (Nurminen 2022).

3.5 Tehokkaat kokonaismitat ja reunaehdot

Rakennejärjestelmän valintojen reunaehtoihin rakennuksen mittojen mukaan on löytänyt lähteistäni tietoa, mutta haastattelujen perusteella katon elementointi kannattaa suuremmissa kohteissa. Joni Kimosen (2022) mukaan katon elementointi alkaa tulla kyseeseen, kun kohteet alkavat olla suuria ja haastavia – kuten koulut, hoivakodit tai kerrostalokorttelit. Tapani Karhun (2022) mukaan laaja katto tarvitsee saada nopeasti umpeen. Toisaalta tiiviissä kaupunkikohteessa ei ole mahdollista muuta kuin rakentaa paikan päällä katolla, tai sitten tilata täsmätoimituksena kattoelementtejä (Vilanen 2022).

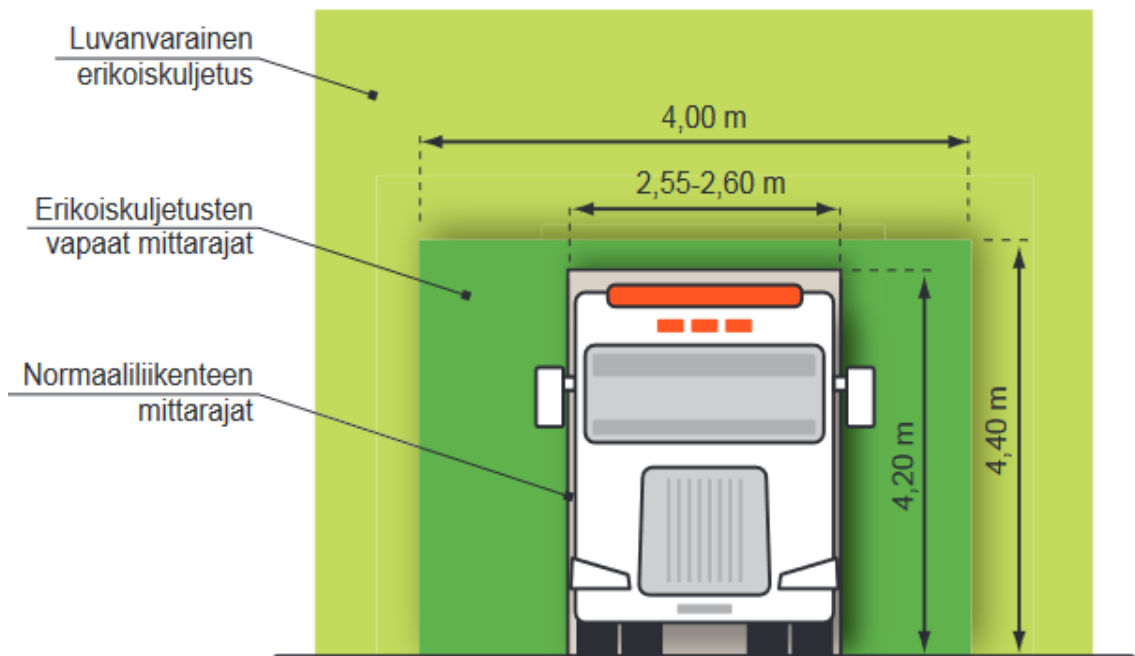
Tehdasvalmisteisille osille rahti määrittelee mitat (kuva 25). Kumipyöräkuljetuksessa kuljetuksen äärimittojen rajat ovat tiukat ja erikoiskuljetuksia joudutaan käyttämään usein.



KUVA 25. Kattoristikkuorma. (Sepa Oy n.d.)

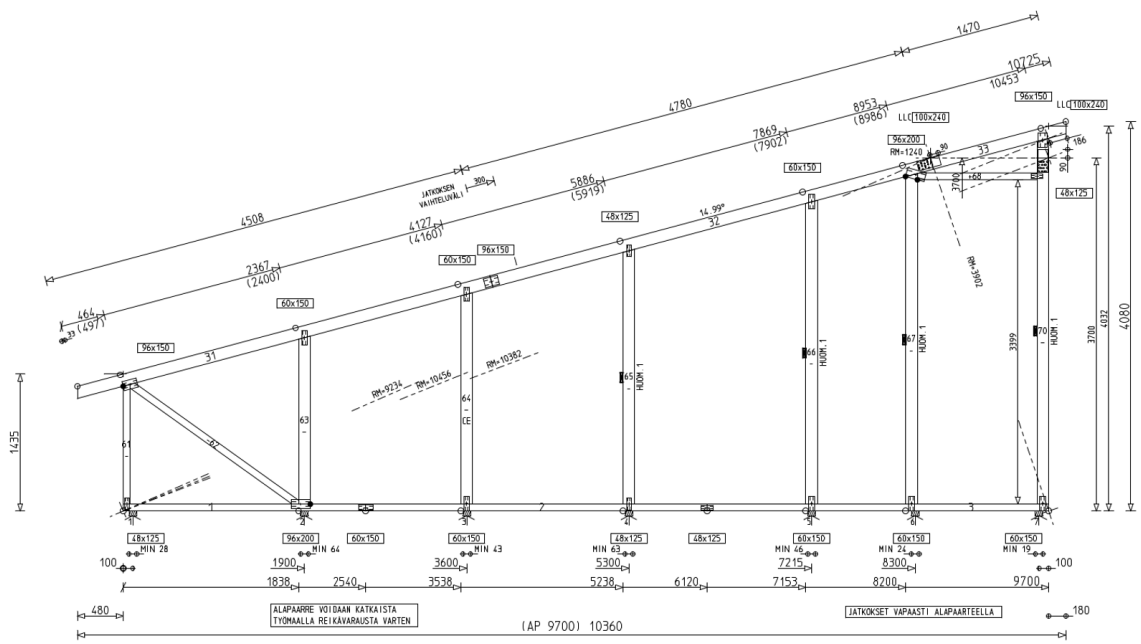
3.5.1 Pukkikatto naulalevyristikoilla

NR-ristikoiden kuljetuksen kannalta tehokas korkeus on sellainen, että ristikko saadaan kuljetettua yhdessä osassa. Tämä tarkoittaa yleensä enintään 3300 mm korkeutta, mutta tuo mitta voi olla tapauskohtaisesti suurempi tai pienempi. Esimerkiksi erikoiskuljetuksen leveysraja on 4 metriä, jolloin tapauskohtaisesti korkeat ristikot voidaan kuormata lappeelleen (kuva 26). Mikäli kuljetusdimensiot ylittyvät, ristikko joudutaan suunnittelemaan ylhäältä katkaistuksi – eli ristikoita tulee kaksi päällekkäin – ja ne joudutaan yhdistämään työmaalla.



KUVA 26. Kuljetusten mittarajoja. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus n.d.)

Projektipäällikkö Markus Karhun (2022) mukaan pituussuunnassa katkaistut ristikot eivät vaikuta asennuksen vaikeustasoon millään tavalla, mutta kahden päällekkäisen ristikon yhdistäminen tuo hieman lisävaivaa. Kuvassa 27 esitetään korkeuden vuoksi katkaistun ristikon kokoonpanopiirustus. Yksittäinen NR-pukkiris- tikko on hyvä suunnitella 15–18 metriä pitkäksi kuljetuksen pituusrajoitusten ta- kia.



KUVA 27. Pukkikaton korkean naulalevykannakkeen rakennekuva. Katkaisu 3700 mm korkeudella, jotta kuljetus kohteeseen saadaan onnistumaan. HUOM. tekstillä merkityt vertikaalit ovat nurjahdustuettavia.

3.5.2 Kattoelementit

Perinteiset tuulettuvat kattoelementit ovat yleensä 18–24 m pitkiä, n. 2,5 m leveitä ja 400–750 mm korkeita. (Liimapuukäsikirja Osa 1. n.d., 41). Leveytensä puolesta ne mahtuvat tavalliseen kuorma-autokuljetukseen, ja niitä voidaan kuljettaa useampi päällekkäin (kuva 28).



KUVA 28. Vesikattoelementit varastoituna pukkien päälle. (Salopelto 2019, 18)

3.5.3 Kattolohkot

Kattolohkon enimmäiskoko n. 10 x 15 metriä (Teriö 2003) Haastatteluissani toistui sama kattolohkon enimmäiskoon suuruusluokka. Työmaalla tehtävien kattolohkojen tuotanto vaatii paljon tilaa tontilta, jotta saadaan aikatauluetua.

Tehdasvalmisteisten kattoelementtien leveys valikoituu ristikkojaon mukaan ja esimerkiksi K-900 kattoelementti on leveydeltään n. 3600 mm (Kimonen 2022). Korkeudet ja pituudet noudattavat samaa kaavaa kuin NR-kattoristikoissa sillä erolla, että lohkoissa on ristikoiden päällä vesikattorakenteita eli ne ovat pelkkiä ristikoita hieman korkeampia.

4 VALINTAPERUSTEET RAKENNUSTAVALLE

4.1 Asiantuntijahaastattelut

Haastatteluissa kävi ilmi, että toteutustavan ja rakennejärjestelmän valinta koostuu monesta muuttujasta. Tapani Nurmisen (2022) mukaan vastaus ei ole yksiselitteinen ja sitä pitää harkita tapauskohtaisesti.

Luetteloin haastatteluista ilmi käyneet valintaperusteet aiheittain. Luettelo on kooste Karhun, Kimosen, Minkkisen, Nurmisen ja Vilasen haastatteluista (2022).

Kustannukset:

- Kustannukset ovat tärkein valintaperuste.
- Markkinatilanne vaikuttaa. Joku tuote voi maksaa enemmän ja toimittajan tilauskirjat voivat olla täynnä.
- Paikallarakennettu pukkikatto saattaa olla edullisin vaihtoehdoista.
- Jos on paljon toistuvuutta, ristikkorakenteita saadaan tavallisesti kilpailukykyiseen hintaan pukkikattoon verrattuna.
- Kattolohkot kustannuksiltaan tehokas ratkaisu.

Tuotantotekniikka:

- Sääsuojan käyttö vaikeuttaa nostoja, koska se on purettava tai siirrettävä nostojen tieltä.
- Kattoelementeillä saadaan alusrakennetta karsittua, jolloin tekniikkavedot mahtuvat paremmin, ja työskentely on helpompaa.
- Puisten kattoelementtien soveltuvuus alapuoliseen runkoon ja niiden kustannukset: hallimaisessa rakenteessa tehokas ratkaisu.
- Kattolohkojen maassa rakentaminen voi haitata työmaan logistiikkaa.
- Kattolohkot yleensä aika pieniä (<200 m²), ja tarvittaisiin paljon tilaa, että tulisi merkittävää aikatauluetua.
- Työvoiman ja rakennusmateriaalien saatavuus.
- Urakoitsijan omat tuotantotavat

Työmaa-aika:

- Aikataulu vaikuttaa.
- Urakka-aikatauluun saadaan aikasäästöjä tekemällä katosta vedenpitävä nopeasti, jolloin väliseinätyöt voidaan aloittaa aiemmin
- Paikallarakennetun pukkikaton työn osuus on pisin näistä vaihtoehdoista. NR-pukkikatto on nopeampi.
- NR-pukkikatossa aikataulua voi vähän häiritä korkeuden vuoksi tarvittavat päällekkäiset ristikot.
- Kattoelementit ovat aikataulullisesti tehokkaita. Niillä saadaan nopeasti valmista kattoa.
- Kattolohkoilla saadaan nopeammin valmista kattoa rakennuksen päälle kuin katon päällä rakennettuna.
- Kattoelementtitoimittajilla on yleensä oma tai sopimusasennusporukka, jolloin riski oman työvoiman sairastumisesta on pienempi – ja toisaalta tämä asennusporukka tekee työn erittäin nopeasti ja tehokkaasti.
- Alapuoliset rakennustyöt voidaan aloittaa sitä nopeammin, mitä nopeammin vaippa saadaan umpeen.

Arkkitehtuuri:

- Koko ja muoto vaikuttavat eniten.
- Rakenne.
- Suurissa ja haastavissa kohteissa (koulut, hoivakodit, kerrostalokorttelit) alkaa elementointi tulla kyseeseen.
- Rakennuksen käyttötarkoitus ja tilajärjestelyt.
- Jännevälit, ristikot, ontelolaatat, palkit.
- Palo-osastointi.
- Erittäin vaikean ja monimuotoisen katon toteutustavaksi ainut vaihtoehto voi olla paikalla rakentaminen.
- Monimuotoisuus lisää haastetta: esim. sisäjiirit, kattolyhdyt tai muut poikkeavat rakenteet vaikeuttavat.
- Tuleeko rakennuksen muodosta ja koosta jotain tarpeita nopeuttaa vesikattotyötä? Laaja katto tarvitsee saada nopeasti umpeen.
- Monimuotoisen kattopinnan elementointi on haastavaa, ellei mahdotonta.
- Katon muoto ja kulma: miten moneen suuntaan on lappeita? Esimerkkinä aumakatto.

- Katemateriaali vaikuttaa jänneväleihin.
- Talon muoto vaikuttaa. Erityisesti jos tehdään muuta kuin suorakulmaista tai jos kattokulmat vaihtelevat.
- Jos rakenneratkaisu on erittäin matala tai monimuotoinen, elementointi ei ole välttämättä oikea ratkaisu.

Talotekniikka:

- Hissin konehuoneen tyyppi ja koko, tuleeko iv-konehuoneet yläpohjaan vai muualle.
- Sijaitseeko IV-konehuone yläpohjassa vai kerroksissa.

Sääsuojaus ja kosteudenhallinta:

- Valintaan vaikuttaa vuodenaika ja sääolosuhteet rakennustyön aikana.
- Vuodenaika vaikuttaa.
- Vuodenaika ja rakennusaika.
- Mikäli sääsuoja on käytössä, voi työskennellä paremmin ylhäällä.
- Kosteudenhallinta: lohkoina maassa tehdyt katot saavat rakennuksen nopeammin sääsuojaan. Mikäli sääsuojaa ei käytetä, tämä on aikataulullisesti kriittistä.
- Kattolohkoilla saadaan nopeasti yksittäiset katto-osat sääsuojan alle. Toisaalta yhdellä nostolla ei saada isoa osaa katosta tehtyä (luokkaa 200 m^2 kerralla).
- Paikallarakentaminen pitkästä tavarasta on hidas tapa tehdä. Voi edellyttää sääsuojan käyttämistä.
- NR-pukkikatto saadaan nopeammin vedenpitäväksi.

Rakennuspaikka:

- Kaava määrittelee katon muodon.
- Onko tontilla tilaa, esimerkiksi työmaalla katon esivalmistamista varten.
- On usein haaste, että maasta löytyy sopivaa kenttää rakentaa kattolohkoja.
- Tiiviissä kaupunkikohteessa on mahdollista rakentaa ainoastaan paikan päällä katolla, tai sitten tilata täsmätoimituksella kattoelementtejä.

Työturvallisuus:

- Paikallarakennetussa pukkikatossa on ylhäällä tehtävää ja katkottavaa eniten. Työturvallisuusvaikutuksia voi olla välillisesti esimerkiksi jätemäärän vuoksi. NR-pukkikatossa tätä on vähemmän.
- Nostot ovat aina työturvallisuusriski. Nostosuunnitelma tehtynä ja huolellisesti toteutettuna turvallista.
- Isojen kattolohkojen nosto suunniteltava huolellisesti. Voi olla työturvallisuusriski.
- Tuuli tarttuu eri tavalla kattolohkoon kuin yksittäisiin ristikoihin.
- Kattolohkojen rakentaminen maassa on turvallista.

Urakkamuoto:

- Toteutustavan valintaan saattaa vaikuttaa myös oman työn tai aliurakoinnin käyttö sen mukaan, mikä tapa on kullekin tehokkain.
- Urakkamuoto vaikuttaa.
- Urakkasopimus vaikuttaa.
- Kilpailu-urakassa urakoitsijan vaikea vaikuttaa itse toteutustapaan erityisesti siksi, että suunnitelmat on jo tehty.
- Omassa ja KVR-urakassa vapaammat kädet.
- Tuoteosakaupan voi myös tehdä, jolloin toimitukseen kuuluu katon toimitajan oma suunnittelu.
- Urakoitsijaa kannattaa kuunnella.

4.2 Toteutustavan vaihtaminen urakan aikana

Joskus saattaa tulla aikataulullisia, työvoimasta tai toimitusvaikeuksista johtuvia syitä vaihtaa katon alkuperäistä toteutustapaa. Kysyin haastatteluissani myös tähän liittyviä käytäntöjä ja mielipiteitä ja koostan tässä useammasta haastattelusta näkökulmia:

- Toteutustavan muuttamiseen vaikuttaa urakkamuoto, markkinatilanne, aikataulu ja suunnittelijoiden aikataulu.
- Kohtuullisen korkuinen pukkikatto tehdään mieluisen NR-ristikoilla, ja se on mahdollinen myös elementeillä.

- Erittäin matala tai monimuotoinen katto aiheuttaa haasteita elementoinnin suhteen, jolloin vaihtaminen ei välttämättä ole mahdollista.
- Vaihtaminen on mahdollista, mutta se edellyttää suunnitelmien päivitystä ja siksi onkin järkevää valita toteutustapa etukäteen, ja suunnitella ratkaisut sen mukaisesti.
- Kohteissa, jossa urakoitsijalla on suunnittelu omissa käsissä, toteutustapa on helppo ja selvä valittava.
- Kilpailutetuissa urakoissa tilaaja voi olla tehnyt jo omat suunnitelmansa, mutta urakoitsija voi nähdä oman tapansa aikataulua säästävänä ja ehdottaa tilaajalle toteutustavan vaihtamista.

Mira Kostamo kirjoittaa mestarityössään (2018), että vastaavalla työnjohtajalla on hyvät mahdollisuudet vaikuttaa vesikaton toteutustapaan. Työvaiheen suunnitteluun vaikuttaa käytettävissä oleva rakennuskohde ja sen erityispiirteet, joita ovat mm. käytettävissä oleva tila rakennettavalla tontilla, käytettävien materiaalien varastoinnin mahdollisuudet sekä käytettävissä olevat nostoapulaitteet.

4.3 Yhteenveto valintaperusteista

Haastatteluista voitiin havaita, että perusteita on viljalti, eivätkä kaikki vaikuta jokaisessa hankkeessa. Kuitenkin muutama perustelu osoittautui muita selvästi tärkeämmäksi. Tässä osassa esitän yksinkertaistetun yhteenvedon sekä valintaperusteista että rakennejärjestelmien eduista.

4.3.1 Rakennejärjestelmän ja toteutustavan valintaperusteet

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat eniten:

- katon pinta-ala
- katon muoto
- kustannukset

Toisin sanoen katon pinta-alan ja muodon mukaan valitaan se rakennejärjestelmä, joka on kokonaiskustannuksiltaan pienin toteuttaa. Vertailtavat rakennejärjestelmät osoittautuivat suunnilleen saman hintaisiksi (pl. kattoelementit, joille ei löytynyt valmista kustannustietoa tähän työhön), joten kustannussäästöjä voidaan saada välillisesti toista kautta. Esimerkiksi rakentamisen aikataulun lyheneminen vaikuttaa myös välillisesti kustannuksiin, kun katto saadaan nopeasti vedenpitäväksi ja sisätyöt voidaan aloittaa aikaisemmin.

Toteutustavan valintaan vaikuttavat eniten:

- kustannukset
- aikataulu
- urakkamuoto
- urakoitsijan osaaminen
- sääsuojan käyttö
- vuodenaika
- talotekniikan määrä
- rakennuspaikan ahtaus

4.3.2 Rakennejärjestelmien edut ja haitat

Koostan lopuksi tässä opinnäytetyössä tehdyn selvityksen perusteella eri rakennejärjestelmien edut ja haitat rakennejärjestelmäkohtaisesti sekä hankemuuttujakohtaisesti (taulukko 4).

Paikallarakennetun pukkikaton edut ja haitat:

- ei vaikeita nostoja
- ei tehdasvalmistusta, joten materiaalin saatavuus hyvä
- katemateriaalin täysi valinnanvapaus
- mahdollisesti halvin toteutustapa
- hidas toteutustapa
- saattaa edellyttää sääsuojan käyttöä

NR-pukkikaton edut ja haitat:

- katemateriaalin täysi valinnanvapaus
- nostot eivät erityisen vaikeita
- kustannustehokkain vaihtoehto, kun samanlaisia NR-ristikoita voidaan käyttää mahdollisimman paljon
- tilavaraukset esimerkiksi tekniikalle voidaan huomioida suunnitteluvaiheessa

Kattoelementtien edut ja haitat:

- nopein tapa saada vedenpitävä katto suuremmissa kohteissa
- räystäät nopeasti
- soveltuu hyvin talvirakentamiseen, koska suurin osa kattotöistä tehdään tehtaassa ja työmaalle jää vain tukiseinien ja kattoelementtien asennus
- pitkien jänneväliden ansiosta alusrakenne on harvempi ja katon alla on enemmän työskentelytilaa
- suuri hankintahinta, mutta nopea asennus kompensoi tätä laajoissa kohteissa

Kattolohkojen edut ja haitat:

- runkovaiheen kanssa samanaikainen katonvalmistus lyhentää rakennusaikataulua
- aikataulusäästön ja maassa tehtävien töiden takia kustannustehokas (ei niin paljon putoamissuojien tai telineiden rakentamista)
- räystäät nopeasti
- työmaatoteutus vaatii paljon tilaa
- erityistä tarkkuutta vaaditaan tekniikan nostojen ja asennusten kanssa

TAULUKKO 4. Eri toteutustapojen edut. Kolme tähteä merkitsee hyvin soveltuvaa ja yksi tähti heikosti soveltuvaa.

	Paikallaraken- nettu pukkikatto	NR-pukkikatto	Kattoelementit	Kattolohkot
Tarvikkeiden edullisuus	***	**	*	**
Työmaalla tehtävän työn edullisuus	*	**	***	***
Katto nopeasti vesitiiviiksi	*	**	***	***
Turvallisuus	**	**	***	***
Laaja kattopinta-ala	*	**	***	**
Monimuotoinen katto	***	***	*	**
Talvirakentaminen ilman sääsuojaa	*	*	**	**

5 POHDINTA

Työssä perehdyttiin puukaton rakennejärjestelmän ja toteutustavan valintaan ja niiden vaikutuksiin rakennushankkeessa. Näkökulmia löytyi kirjallisuudesta ja haastatteluista työnjohtajilta, mestareilta, rakennusliikkeiden projekti-insinööreiltä, tuoteosavalmistajilta, rakennustöiden valvojilta, suunnittelijoilta sekä kustannuslaskijoilta. Sain koostettua kattavat perusteet rakennejärjestelmän valintaan eri hankeosapuolten lähtökohdista.

Yhtäkään sellaista teosta ei löytynyt, jossa vesikatto olisi ollut pääroolissa, vaan eri vertailunäkökohdat piti etsiä eri lähteistä. Tiedonjyvien yhdistely oli avainasemassa tätä työtä tehdessä.

Pyrin olemaan lähdekriittinen. Joissakin lähteissä esitettiin mielestäni liian kovia väitteitä toteutustavan eduista, ja jätin ne omasta opinnäytetyöstäni pois. Haastateltaviltani selvitin heidän työkokemuksensa ja taustakoulutuksen, sekä haastatelllessani arvioin väitteiden luotettavuutta.

Oma ennako-odotukseni oli, että pukkikatto naulalevyristikoilla olisi selvästi edullisin vaihtoehto, koska sen toteuttaminen on selkeää ja tehokasta. Kuitenkin työn tekemisen aikana selvisi, että jokaisella toteutustavalla on selvät etunsa ja haittansa, jota punnitaan jokaisen hankkeen kohdalla erikseen.

Selvimmäksi katon muodon määrittäjäksi osoittautui kaava ja muita valintoja ohjaa eniten raha.

Työn tuloksista saattaisi olla mahdollista toteuttaa esimerkiksi vuokaavio, mikä ohjeistaa parhaan toteutustavan valintaan kussakin hankkeessa.

LÄHTEET

AL-Katot. n.d. Luettu 16.4.2022. <https://www.al-katot.fi/referenssit/mansikkalan-koulukeskus/>

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. n.d. Erikoiskuljetukset. Luettu 1.4.2022. https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf

Hallikainen, O., 2020. Tarveselvityksen ja hankesuunnitelman merkitys suunnitelma-asiakirjojen laadinnassa. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Heikkilä, M., 2012. Vesikaton rakentaminen elementteinä. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Mestarityö.

Junnonen, J., Kankainen, J. 2020. Rakennuttaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Karhu, M. Projektipäällikkö. 2022. Haastattelu 28.3.2022. Haastattelija Koski, O. Tampere.

Kattoliitto ry. 2019. Toimivat katot 2019. Luettu 17.2.2021. https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat_katot_2019_netti.pdf

Kilpeläinen, M., Ukonmaanaho, A. & Kivimäki, M. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä – elementtirakenteet. Wood Focus Oy.

Kimonen, J. Myynnin koordinaattori. 2022. Katon rakennejärjestelmän valinta. Sähköpostiviesti. Luettu 28.3.2022.

Koskela, R., 2014. L-mallisen kerrostalon vesikattotyöt tehdasristikoilla. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Koskenvesa, A., Sahlstedt, S., Mäki, T. & Lahtinen, M. 2018. Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kostamo, M. 2018. Vesikattotyön toimintatapa. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Mestarityö.

Mangrove Oy. 2022. Puu- ja betonirakentamisen vertailuhanke valmistui Turussa: Puurunkoinen kerrostalo ripeämpi rakentaa ja toimii hiilivarastona koko elinkaarensa ajan – suhdanneherkkyys alan haaste. Luettu 16.4.2022. <https://www.mangrove.fi/ajankohtaista/puu-ja-betonirakentamisen-vertailuhanke-valmistui-turussa-puurunkoinen-kerrostalo-ripeampi-rakentaa-ja-toimii-hiilivarastona-koko-elinkaarensa-ajan-suhdanneherkkyys-alan-haaste/>

MetsäWood Oy. 2017. Kerto-käsikirja, lattia- ja kattopalkit. Luettu 20.4.2022. <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/kerto-kasikirja-lvi-lattiapalkit-kattopalkit.pdf>

Minkkinen, A. Kustannusasiantuntija. 2022. Haastattelu 22.3.2022. Haastattelija Koski, O. Tampere.

Mäkelä, O. 2012. Vesikaton toteutus lohkoina. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.

Nurminen, T. Projekti-insinööri. 2022. Haastattelu 28.3.2022. Haastattelija Koski, O. Tampere.

Puuinfo Oy. 2020. Palkiston ja NR-ristikoiden jäykistys. Luettu 19.4.2022. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/palkiston-ja-nr-ristikoiden-jaykistys/>

Rakennustaito. 2020. Rakennustyö siirtyy tehtaaseen. Luettu 19.4.2022. <https://rakennustaito.fi/rakennustyo-siirtyy-tehtaaseen/>

Rakennustieto. 2007. Rakennustöiden putoamissuojaus. Ratu 1218-S. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto. 2014. Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet. Menekit ja menetelmät. Ratu 0423. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2008. RIL 248-2008: NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Teriö, O. 2003. Betonivalmisosarakentamisen kosteudenhallinta. Tampere: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Salopelto, N. 2019. Vesikaton elementointi. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Mestarityö.

Suomen liimapuu yhdistys ry ja Puuinfo oy. n.d. Liimapuukäsikirja Osa 1. Luettu 3.2.2022. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>

Työterveyslaitos. n.d. Työpaikkatapaturmat. Luettu 17.2.2022. <https://tyoelamatieta.fi/fi/dashboards/accidents-at-work>

Uusheimo, T. 2021. Wood City Supercell. Luettu 16.4.2022. <https://www.ark.fi/en/2021/02/wood-city-supercell/>

Vilanen, A. Rakennustöiden valvoja. 2022. Haastattelu 31.3.2022. Haastattelija Koski, O. Tampere.

Virtain kaupunki. 2019. Yhtenäiskoulun blogi. Luettu 17.3.2022. <https://www.virtain.fi/varhaiskasvatus-ja-koulutus/virtain-uusi-yhtenaiskoulu/>

Åström, G. 2011. RIL 250-2011: Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

LIITTEET

Liite 1. Työmenekkilaskenta osa 1

Oletusarvoista materiaalimenekkiä on kasvatettu sillä perusteella, että katto on n. 150 cm oletusarvoa korkeampi. Työmenekkiin asetettu korkeuden takia vaikeuserroin 1,1. Kuvakaappaus kustannuslaskentaohjelmasta esitetään kuvassa 28.

RAKENNUSTIETO > RT-kustannuslaskenta

Tampereen korkeakoulusäätiö sr/ Tampereen Yliopisto *

Ohjeet Näkymä

Hankkeet > Hanke: Kerrostalon katto > Laskelmat

		Uusi laskelma	Tuo laskelma	Raportti	Talo 90	Hanketiedot	Lisätoiminnot	Etsi laskelma			
Laajuus:	- m ²										
Vaikeuserroin:	1,10										
Hankepalvelu %:	0,00										
Sotuserroin:	1,73										
Aluekerroin:	1,00										
Alv %:	24,00										
		€/Laajuus	Materiaalit	Hankinnat	Työt	Tunnit	Yht.(Alv.0%)	Yht.(Sis. Alv)			
Koko hanke		-	59 107 €	19 479 €	21 473 €	638 tth	100 059 €	124 073 €			
<p>← Jno Talo 90 Nimi Määrä Yksikkö Materiaalit Hankinnat Työt Tunnit Yhteensä Älä laske Näytä kaikki</p>											
1		Pukkipkatto paikallarakentaen		26 021 €	9 740 €	12 657 €	375 tth	48 417 €			
3	F41	Yläpohja: ontelolaatta 175 mm, mineraalivilla 340 mm, vesikatealusta, vesikattokannattajat, vino yläpohja, kaltevuus väh. 1:4 (sis. pinnat, betonitiilikate ja kattotasote)		490 m ²	26 021 €	9 740 €	12 657 €	375 tth	48 417 €		
1	F41	Vesikate, kaksikerroskermikate VE 40, kaltevuus > 1:40, paloluokka K1		m ²	28,89 €	0,00 €	6,72 €	0,21 tth	35,61 €		
3	F41	Vesikatteen alusta, raakaponttilaudoitus, vino yläpohja (umpeenlaudoitus)		m ²	9,59 €	0,00 €	7,81 €	0,23 tth	17,39 €		
4	F41	Vesikattokannattajat, tuulenohjain, tuuletettu ilmatila, yläpohja		m ²	14,63 €	0,00 €	11,30 €	0,33 tth	25,93 €		
5	F41	Lämmöneriste 340 mm, mineraalivilla, yläpohja, puhallettuna		m ²	0,00 €	19,88 €	0,00 €	0 tth	19,88 €		
7		Pukkipkatto NR-kattotuoleilla			33 086 €	9 740 €	8 816 €	263 tth	51 642 €		
3	F41	Yläpohja: ontelolaatta 175 mm, mineraalivilla 340 mm, vesikatealusta, vesikattokannattajat, vino yläpohja, kaltevuus väh. 1:4 (sis. pinnat, betonitiilikate ja kattotasote)		490 m ²	33 086 €	9 740 €	8 816 €	263 tth	51 642 €		
1	F41	Vesikate, kaksikerroskermikate VE 40, kaltevuus > 1:40, paloluokka K1		m ²	28,89 €	0,00 €	6,72 €	0,21 tth	35,61 €		
3	F41	Vesikatteen alusta, raakaponttilaudoitus, vino yläpohja (umpeenlaudoitus)		m ²	9,59 €	0,00 €	7,81 €	0,23 tth	17,39 €		
5	F41	Lämmöneriste 340 mm, mineraalivilla, yläpohja, puhallettuna		m ²	0,00 €	19,88 €	0,00 €	0 tth	19,88 €		
6	F41	Kattotuoli, NR-ristikko k 1200, jv 9600, kiinnikkeineen, suora, h = 500mm		m ²	29,05 €	0,00 €	3,46 €	0,1 tth	32,51 €		

KUVA 28. Kuvakaappaus kustannuslaskentaohjelmasta.

Liite 2. Työmenekkilaskenta osa 2

Taulukkolaskenta työvaiheen aloittavien töiden osalta paikallarakennetun ja NR-rakenteisen pukkikaton välillä esitetään kuvassa 29.

Paikallarakennettu loiva katto			pinta-ala	490 m2	ristikoita	45 kpl
Aloittavat työt	Työnoisa	Työmenekki	Kokonaistyömenekk	Kokonaistyömenekki	NR	
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	vesikattorakenteet	0,01 tth/m2	4,9	4,9		
Mittaus		0,08 tth/seinä-jm	8	4		
Siirrot						
Nosto		0,2 tth/siirtokerta	33	6,6	21	4,2
käsinsiirrot		0,08 tth/siirtokerta	100	8	50	4
materiaalsiirrot		0,06 tth/katto-m2	29,4	29,4		29,4
		YHT	56,9			46,5
Työryhmä: 3*RAM + 1*RM		TL3-kerroin 1,1 kokonaisaika T4	62,59			51,15
		puun tiheys 500 kg/m3				
		max pisteuorma holvilla 200 kg/m2				
		puutavaran pituus 4 m				
		800 kg 4 metrin matkalle tarkoittaa 17 nostoa puutavaralle				
		48x125 puu poikkileikkaus 6000 mm^2		0,006 m^2		4*0,006*x=500

KUVA 29. Kuvakaappaus aloittavien töiden työmenekkilaskennasta.