

**KORJAUSKOHTTEEN KANTAVIEN RAKENTEIDEN SELVITYS JA  
TOIMENPITEET KANTAVUUDEN VARMISTAMISEKSI**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2023

Viljami Erola

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Viljami Erola

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Työn nimi Korjauskohteen kantavien rakenteiden selvitys ja toimenpiteet kantavuuden varmistamiseksi

Ohjaaja Kalle Rohola

---

Tämä opinnäytetyö käsitteli korjauskohteessa tapahtuvaa prosessia kantavien rakenteiden näkökulmasta selittäen ohella aiheeseen liittyvää tarvittavaa tietoa. Tarkoituksena oli saada kattava kuva kantavien rakenteiden selvityksestä sekä toimenpiteistä, joita tarvitaan kantavuuden varmistamiseksi. Aluksi käytiin läpi teoriaa ja korjaushanketta varten tarvittavia tietoja. Tämän jälkeen aihetta käsiteltiin esimerkkikohteen avulla, minkä avulla havainnollistetaan huomioitavia asioita vahvistamisen ja siihen liittyvien toimenpiteiden kannalta. Opinnäytetyö toteutettiin Satakuntaan paikalliselle maa- ja metsätalousyrittäjälle, jonka piharakennusta on tulevaisuudessa aikomus kunnostaa. Opinnäytetyössä saatavia tuloksia sekä prosessin aikana saatua tietoa tullaan käyttämään hyödyksi kyseisessä hankkeessa. Tuloksena saatiin kohteelle valmis, realistinen ja kustannustehokas toteutusvaihtoehto, mitä voidaan hyödyntää kohteen korjauksen toteutusvaiheessa.

Avainsanat Korjausrakentaminen, kantavat rakenteet, rakenteiden vahvistaminen, korjausrakennesuunnittelu

Sivut 65 sivua ja liitteitä 17 sivua

Degree Programme in Construction and Civil Engineering

Author Viljami Erola

Abstract

Year 2023

Subject Structural assessment for load bearing structures and procedures ensuring structural capacity

Supervisors Kalle Rohola

---

This thesis considers the process of a renovation project from the perspective of load bearing structures while it also presents related information of the topic. The goal was to obtain a comprehensive picture of the assessment of the load bearing structures and the measures which are needed to ensure the structural capacity. First, theory and preliminary information were considered. After considering theory and other necessary information, all the factors mentioned in the work were demonstrated with an example project with topics related to structural reinforcement and other measures. Thesis was done behalf of a local agricultural and forestry entrepreneur in Satakunta, Finland. One of their courtyard buildings will be under renovation.

The results and gained information from this project will be used in the near future in the project. As a result, the particular building will have a realistic, ready-to-use and a cost-effective implementation option, which can be used in the implementation phase of the project.

Keywords Renovation, load-bearing structures, structural reinforcement, repair structure design

Pages 65 pages and appendices 17 pages

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Rakentamisen historiaa Suomessa .....	3
2.1	Lainsäädännön aiheuttamat ongelmat .....	4
2.2	Laadunvarmistuksen aiheuttamat ongelmat .....	5
3	Rakentamismääräysten historiaa Suomessa .....	6
3.1	Ristiriitaisuudet ja ongelmat nykyään .....	8
3.2	Rakentamismääräykset korjaushankkeen kannalta .....	9
3.3	Laadunvarmistuksen tuoma hyöty .....	11
4	Korjausrakentamisen selvitys ja suunnittelu .....	12
5	Korjausrakentamisen vaatimukset .....	15
5.1	Lähtötietojen selvitys .....	16
6	Rasitus- ja vahvistustyytit .....	22
6.1	Analyysi ja mitoitus .....	27
6.1.1	Liittorakennetoiminta .....	29
6.1.2	Palomitoitus ja ääniympäristö .....	30
7	Kantavien rakenteiden muutostöiden toteuttaminen .....	31
7.1	Purkaminen .....	33
8	Esimerkkikohde .....	35
8.1	Suunnittelun lähtötiedot ja rakenteelliset vaatimukset .....	36
8.2	Toimenpiteiden vertailu .....	43
8.2.1	Rakenneanalyysi .....	44
8.2.2	Vahvistussuunnittelu ja mitoitus .....	50
8.3	Suositus ja toteutus .....	53
9	Yhteenveto .....	54
9.1	Tulokset ja johtopäätökset .....	55
9.2	Vaihtoehtoiset menetelmät .....	58
9.3	Hyödyntäminen ja pohdinta .....	59
	Lähteet .....	62

## **Liitteet**

- Liite 1 Kattoristikoiden rakenneanalyysi
- Liite 2 Puurakenteiden kuntotarkastuslomake
- Liite 3 Kohteen valikoitu kuvasarja

## 1 Johdanto

Eurokoodit tulivat käyttöön virallisesti Suomessa vasta 2010-luvulla, minkä takia vanhentuneet rakentamismääräyskokoelman suunnitteluarvot ovat osin muuttuneet ja päivittyneet. Myös lainsäädäntö ja laadunvarmistus rakentamista kohtaan on kehittynyt, minkä takia aihe on tärkeää käsitellä. Vanhoja rakenteita olisi hyvä tarkastella muun muassa rakennuksen turvallisuuden ja pitkäikäisyyden vuoksi, rakennushistoriaa kunnioittaen. Korjausrakentamista ja näissä tapahtunutta rakenteiden vahvistamista on jouduttu tekemään useammassa kohteessa, ja on todennäköisesti lisääntymässä korjausrakentamisen yleistyessä. Suomessakin on kasvavassa määrin vaativimpiakin korjauskohteita, joissa on jouduttu vahvistamaan olemassa olevia rakenteita, kuten:

- Grand Hansa Hotellin rakentaminen Helsingissä olemassa oleviin kiinteistöihin, johon liittyi muun muassa kerroskorottamista ja uuden välipohjan sekä perustusten vahvistamista.
- Suomen kansallisteatteri, jossa vanhoja puupaaluperustuksia vahvistettiin suihkuinjektoinneilla, ja rakennuksen sisään rakennettiin uusia kantavia välipohjia jälkijännitetyillä betonipalkeilla tukeutumaan 1902 muuratuista tiiliseinistä. (Koivusaari Kalle, henkilökohtainen tiedonanto, 6.5.2023)
- Helsingin Olympiastadion, jossa on jouduttu vahvistamaan muun muassa katsomon alapuolisia kehäpalkkeja.

Suurin syy miksi rakennusten korjaustoimenpiteitä aletaan harkita, on näiden teknisen käyttöiän päätyminen. Myös nykyään asetettujen asetusten myötä eri rakennuksien rakentamisoikeutta on rajoitettu, jolloin purkaminen ei kannata. Vanhoja kohteita olisi hyvä tarkastella jo ennen tätä. Kokonaisuudessaan korjaushankkeissa on suunnittelun kannalta tärkeitä huomioitavia elementtejä, joita on tärkeää pitää silmällä. Korjausrakennesuunnittelu on yleisesti vaativaa työtä, jossa rakennesuunnittelijalta edellytetään laajaa ammattitaitoa, sillä siinä on paljon eri aspekteja, joita pitää ottaa huomioon, jotta päästäisiin arkkitehtuurisiin, rakenteellisiin ja taloudellisiin tavoitteisiin.

Opinnäytetyön yleisenä tavoitteena on avata korjausrakentamisen suunnittelussa tapahtuvaa prosessia kantavien rakenteiden osalta. Työn tarkoituksena on toimia hyvänä lähtökohtana korjaushankkeen aloittamiseen. Samalla opinnäytetyö voi toimia oppaana aloittelevalle pienrakentajalle tai suunnittelijalle, avaten myös rakennusvalvonnan sekä rakennesuunnittelun puolta. Opinnäytetyössä avataan väljästi rakentamisen sekä rakentamismääräysten historiaa ja näiden vaikutuksia rakentamiselle nykyään. Vahvistustoimenpiteitä tarkastellaan yleisellä tasolla nykynormien valossa. Esimerkkikohdetta hyödynnetään havainnollistamaan käsiteltyjä asioita suunnitteluprosessissa, miten tehdään olemassa olevalle rakennukselle kantavien rakenteiden selvitystä sekä toimenpiteitä kantavuuden varmistamiseksi. Kohde on Satakuntalaisen paikallisen maatalousyrittäjän kalustovaja, paikallisittain suuli. Rakennusta on suunnitteilla päivittää, jota varten kohteen rakenteiden kantavuutta ja toimivuutta halutaan tarkastella syvemmin. Opinnäytetyötä ja sen prosessin tietoja sekä tuloksia on tarkoitus hyödyntää kohteessa tulevaisuudessa.

Korjauskannan ja -hankkeiden lisääntyessä myös opinnäytetyöt aiheesta ovat lisääntyneet. Tämä oli omiaan lisäämään aiheen valinnan vaikeutta, sillä oli hankala löytää aihetta, jota ei olisi jo kattavasti käsitelty. Tämä aihe valikoitui kiinnostuksesta haasteelliseen rakennesuunnitteluun ja ongelmien ratkaisuun. Viime vuosina onkin ilmestynyt monia laadukkaita opinnäytetöitä, joita voidaan hyödyntää laajasti suunnittelun apuvälineinä.

## 2 Rakentamisen historiaa Suomessa

Rakentamisen kulttuuri on muuttunut ja kehittynyt vahvasti viime vuosisadan aikana monella tapaa. Tämä johtui aikanaan Suomen itsenäistymisestä ja taloudellisesta kasvusta. Ennen vuosisadan vaihdetta 1900-luvulle siirryttäessä, rakentamisen taito siirtyi yleensä vanhemmalta kirvesmieheltä nuorimmalle kokemuksen kautta, jolloin rakentaminen oli enemmän kirvesmiesten taitojen varassa. 1800-luvun loppupuolella rakennuksen suunnittelu alkoi siirtymään koulututeille virkamiehille. Rakennuskannan tarve alkoi kasvamaan merkittävästi 1900-luvun aikana. (RIL 174-4, 1988, ss. 14-27; 82-83)

1900-luvulle asti puurakentaminen vallitsi Suomessa sen saatavuuden takia, ja on edelleenkin yleisin pientalon rakennusmateriaali. Myös muurausrakentaminen on ollut yleistä aikoinaan. Näistä vanhin nykyisellä muuraustekniikalla rakennettu kohde on Hämeen linna. 1900-luvun edetessä, betoni- ja teräsrakentaminen alkoi yleistymään. Vuosisadan mittaan tuotantoa alettiin siirtämään pois työmaalta, ja kehiteltiin elementtitekniikkaa. Näitä rakennuksia pidettiin merkittävästi kestävämpinä kuin puurakenteisia taloja. Samalla käsillä rakentaminen alkoi olemaan niin hidasta, ettei se kyennyt tyydyttämään kasvavaa asuntotarvetta. Tiiliteollisuutta uhkasi sukupuutto, joten se kilpailikin betonirakentamisen kanssa, jolloin toteutettiin Roihuvuoressa, Strömsin tiilitaloalueella sarjatuotannolla tiilitaloja. Tiiliteollisuus alkoi kuitenkin väistymään teollisen elementtirakentamisen tieltä. Nykyään eri rakennusmateriaalien käyttö on monipuolista. (Mölsä, 2017-a)

Kasvava kilpailu sekä asuntotarve loi vaatimuksia rakennusalan ammattilaisille ja heidän tarpeilleen, minkä takia erilaisia rakennustapoja ja -materiaaleja alettiin kehittämään ja tutkimaan. Kuitenkin nämä kaikki altistivat myös virheille ja laadullisille ongelmille. Kasvavaan tarpeeseen ja sen tuomiin ongelmiin heräsi ensimmäisenä Helsingin kaupungin rakennustarkastuskonttori, joka julkaisi eri rakennusmateriaaleille säädöksiä ja määräravoja kuormituksille sekä sallituille ainerasituksille 1900-luvun alussa. Ensimmäisen maailmansodan jälkeen laadittiin ensimmäisiä kansallisia normeja betonille, muuratuille rakenteille ja teräkselle sekä puulle. Kuitenkin vasta sotien jälkeen alkoi todellinen kehitys suunnittelunormien saralla, kun uusia menetelmiä ja materiaaleja sekä standardeja kehitettiin ja testattiin. (RIL 174-4, 1988, s. 82–84; 90–93; 118–119; 132–143)

## 2.1 Lainsäädännön aiheuttamat ongelmat

Lainsäädäntö on kehittynyt huomattavasti yksityiskohtaisemmaksi ja yksiselitteisemmäksi myös maankäyttö- ja rakennuslain puolella. Kuitenkin nykypäivänä rakenteita katselmoimassa on hyvä muistaa, että aikoinaan rakentamisen lainsäädäntö oli enemmän tai vähemmän tulkinnanvaraisia, mikä mahdollisti vaihtelevaa laatua koko rakennushanketta ajatellen. Tämä aiheuttaa haasteita korjausrakentamisen puolella vielä tänäkin päivänä.

Rakennushankkeen kokonaisorganisointi oli mahdollista tehdä puutteellisesti vielä 1990-luvulla. Myös rakennusvalvonta oli riittämätöntä, eikä esimerkiksi suunnitelmia tarvinnut tarkastuttaa kolmansilla osapuolilla, vaikka tämä olisi vähentänyt epäonnistuneita hankkeita. Heikon laadunvarmistuksen lisäksi, vastuun keskittyminen yksittäiselle henkilölle on ollut omiaan aiheuttamaan ongelmallisia rakennuksia. Hyvä esimerkki tästä on vuonna 2013 sortunut ratsastusmaneesi Laukaalla, missä rakennushankkeeseen ryhtyvä oli silloisten säädösten mukaan saanut toimia sekä suunnittelijana että vastaavana työjohtajana, eikä suunnitelmia tarvinnut tarkastuttaa ulkopuolisella tarkastajalla. Rakennuksen kuormituksia suunniteltaessa oli tapahtunut väärinkäsityksiä, minkä takia rakenne oli jo rakennusvaiheessa vakavasti alimitoitettu. Myös osa kohteesta oli toteutettu ilman suunnitelmia. Aikoinaan rakentamisessa oli helpompaa kiertää silloisia säädöksiä puutteellisen valvonnan takia. (Onnettomuustutkintakeskus, 2014)

Tähän ongelmaan ympäristöministeriö puuttui vuosina 2007–2017 tekemillään strategialinjauksilla, vähentämällä lain tulkinnanvaraisuutta ja yhdenmukaistamalla korjausrakentamisessa tapahtuvia toimenpiteitä. Tämän seurauksena rakentamismääräykset päivittyivät suuresti vuonna 2018. Tätä ennen oli muun muassa asetettu kantavia rakenteita koskevia asetuksia vuonna 2014. (Mölsä, 2017-b; Kuhlman, n.d.)

Muun muassa rakennuslupahakemusten hakeminen sekä henkilöiden pätevyysvaatimukset ovat päivittyneet vasta viime aikoina, millä on pyritty rajoittamaan edellisen kappaleen kaltaiset organisaatiot. Tämä on mahdollistanut epäpätevien rakentajien ja suunnittelijoiden toiminnan ennen kyseisen säännöksen voimaantuloa. Se on taas johtanut tilanteeseen, jossa kantavat rakenteet saattavat toimia heikosti vielä nykypäivänä. Tämä on muodostunut

ongelmaksi tarkastettaessa eri korjauskohteita. Riskialttiita rakenteita ei aina voida tunnistaa ajoissa, mikä on omiaan aiheuttamaa vaaratilanteita, jos rakenteet sortuvat ennen kuin näitä huomataan. Laukaan maneesin sortumisen yhteydessä tehdystä onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksessa vuodelta 2014 kävi ilmi, etteivät edes kaikki rakennusvalvontaviranomaiset pystyneet paikallistamaan omien alueidensa riskirakenteita. (Onnettomuustutkintakeskus, 2014)

## **2.2 Laadunvarmistuksen aiheuttamat ongelmat**

Laadunvarmistaminen ja laatu rakentamisessa oli aikoinaan huomattavasti heikompa. Tämä johtui osin lainsäädännöstä, mutta myös kasvavasta rakennusmateriaalivalikoimasta ja -menetelmistä. Rakennusmateriaalien sekä rakentamisen laatuun alettiin keskittyä vasta 1900-luvun loppupuolella, mikä mahdollisti vaihtelevaa laatua eri työmaiden sekä työnjohtajien välillä koko rakennushankkeen näkökulmasta ajatellen. Kyseisiä laadullisesti haitallisia ratkaisuja voidaan havaita vielä nykyäänkin.

Korjauskohteissa voidaan törmätä esimerkiksi palkkien ja pilarien sekä teräsbetonisten rakenneosien, kuten raudoitteiden sijaintipoikkeamiin ja betonin heikkoon laatuun. Myös alkuperäisten piirustusten ja rakennelaskelmien dokumentointi on ollut vajavaista, mitä pidemmälle historiassa mennään, puhumattakaan muista mahdollisista rakennemuutoksista. Rakenteellisia virheitä esiintyy suurella todennäköisyydellä laajasti koko maan vanhemmassa rakennuskannassa, enemmän tai vähemmän kriittisenä. ”Rakennusvalvonta vuosien varrella ei ole ollut niin kattavaa ja tarkkaa, että turvallinen rakentamistapa olisi varmistettu.” (Onnettomuustutkintakeskus, 2019)

### 3 Rakentamismääräysten historiaa Suomessa

Rakentaminen on muuttunut vuosien saatossa monella eri tavalla. Pelkästään teknologian mahdollistava kehitys ei ole muuttanut rakentamista, mutta lisääntynyt tietoisuus rakentamisesta yleensä, rakenteiden terveellisyydestä sekä -turvallisuudesta on kasvanut. Työmaan laatuvaatimukset ja yhdenmukaistetummat suunnittelunormit ovat kasvattaneet rakennusten pitkäikäisyyttä ja turvallisuutta sekä koko rakennuksen elinkaaren aikaista hyvinvointia. Samalla rakennuksien käyttöikäsuunnittelu on tullut voimakkaammin osaksi suunnittelua. (RIL174-4, 1988, s. 118–119)

1900-luvulle tultaessa rakenteiden mitoittamiselle ei vielä ollut kansallisia määräyksiä.

Nykyinen rakennusstatiiikka syntyikin vasta viime vuosisadalla. Kuitenkin jo paljon ennen on ollut erittäin korkeatasoisia ja monimutkaisia rakennuksia, joissa muoto ja kantavuus yhdessä loivat rakenteellisesti toimivan kokonaisuuden. (RIL 174-4, 1988, s. 118–119)

Tämä kuitenkin alkoi muuttumaan vuosisadan vaihteen jälkeen, jolloin ilmestyi ensimmäisiä paikallisia säädöksiä Helsingin kaupungin rakennustarkastuskonttorin ansiosta 1913. Samoihin aikoihin alkoi syntyä tarvetta myös päivittyvästä hakemistosta, josta löytäisi rakentamisen ammattilaisia sekä rakentamiseen liittyvää osaamista. Näin syntyi rakentajain kalenteri 1917, joka oli vuosittain ilmestyvä, aina vuoteen 2018 asti julkaistu, henkilötietohakemisto ja ajankohtaisia artikkeleita sekä taulukoita sisältävä kalenteri. (Angervuori, 2018)

1900-luvun aikana eri rakennusmateriaaleille alkoi hiljalleen syntyä omia kansallisia normeja. Vuonna 1929 julkaistiin ensimmäiset betoninormit, vaikka betonilla oli keretty rakentamaan jo noin neljännesvuosisata. Tämän jälkeen betonitutkimus nosti päätään ja normeja alkoi syntyä lähes vuosikymmenittäin. Muurusrakentamisen rakennesuunnittelu oli aikaisemmin ollut pelkästään muurarien ja arkkitehtien käden jälkeä. 1913-luvulla ensimmäiset paikalliset ohjeet tulivat, kuitenkin todella vajaina todellisille rasituksille. Ensimmäiset kansalliset normit julkaistiin vuonna 1932. Normit päivitettiin tämän jälkeen kahdesti 1950-luvulla, ottamalla huomioon rakenteiden hoikkuuksia ja eri luokkia. Normeja

päivitettiin vielä muutamaan otteeseen, vuosina 1989 ja 2007, ennen eurokoodien käyttöönottoa. (RIL 174-4, 1988, ss. 92; 118–119)

Teräksen käyttö rakentamisessa on aikoinaan ollut vähäisempää, eikä suunnitteluohjeiden tarve esiintynyt niin suurena, mutta toisaalta tämä on vaikuttanut teräksen käyttöön rakennusmateriaalina. Aikaisemmin teräsrakenteet ovat pääosin olleet tuontitavaraa, ja näiden suunnittelu on myös toteutettu tuotteen kyseisen maan mitoitusnormien mukaan. Helsinkiin tuli vuonna 1918 voimaan teräsrakenteille eri määräyksiä kuormituksista ja sallituista ainerasituksista. Teräsrakenteille laadittiin eri organisaatioiden yhteistyönä vuonna 1939 normaalimääräykset, pohjautuen saksalaisiin ohjeisiin. Nämä päivitettiin 1950-luvulla, ja sen jälkeen joka vuosikymmen. Puurakentaminen sai ensimmäiset paikalliset määräykset Helsinkiin vuonna 1917. Puurakenteiden normaalimääräykset julkaistiin vuonna 1946. Tämän jälkeen uusia normeja julkaistiin vuosikymmenittäin. (RIL 174-4, 1988, ss. 82–83; 140)

Palomääräykset saivat 1960-luvulla kantaville rakenteille merkittäviä uudistuksia paloturvallisista materiaaleista sekä rakentamistavoista. Ennen tätä Suomessa oli paloturvallisuusmääräyksiä, jotka koskivat vain yleisesti suunnittelua ja rakentamista. Ajan myötä palomääräyksiä tarkistettiin ja paranneltiin. Myöhemmin 1990-luvulla ja sen jälkeen palomääräykset ovat kiristyneet. (Ympäristöministeriö, 2003, s. 11–16) Nykyään Suomessa sovelletaan tiukkoja palomääräyksiä, mikä aiheuttaa haasteita korjausrakennuskohteissa. (Forsblom, 2011, s. 30–31)

Eurokoodit toimivat virallisina suunnittelustandardeina kansallisten liitteiden lisäksi. Tämä projekti sai alkunsa jo 1970-luvulla, mistä seurasivat ensimmäisen sukupolven eurokoodit 1984. Kuitenkin näiden muuntaminen viralliseksi standardiksi alkoi vasta 1998. Julkaisemisen jälkeen (2002–2007) vastaavat kansalliset standardit tuli poistaa käytöstä. Ympäristöministeriö julkaisi eurokoodien kanssa käytettävät kansalliset liitteet vuonna 2007–09. Näitä voitiin hyödyntää myös rakentamismääräyskokoelman B-sarjan kanssa, kunnes eurokoodit otettaisiin virallisesti käyttöön. Suomessa eurokoodien käyttöönotto ja rakentamismääräyskokoelman uudistus viivästyi. Lopulta, vuonna 2014 eurokoodit tulivat kokonaan käyttöön Suomessa rakentamismääräyskokoelman tilalle. Tällä hetkellä on

suunnitteilla julkaista toisen sukupolven eurokoodit vuonna 2025, tavoitteena yksinkertaistaa ja yhdenmukaistaa koodeja. (Eurokoodi help desk, n.d.)

Kaikista edellä mainituista rakennemateriaaleista normeja löytyy kätevästi ympäristöministeriön nettisivuilta. Näistä vanhimmat kumotut ja vanhentuneet rakentamismääräykset ovat 1970-luvulta. Tätä varhaisempia rakennusmääräyksiä voi löytyä kuntien rakennusvalvonnan arkistoista ja kirjastoista sekä suunnittelutoimistojen vanhoista suunnitelmista.

### **3.1 Ristiriitaisuudet ja ongelmat nykyään**

Korjauskohteen rakenteellinen selvitys ei aina ole yksiselitteistä, ja siinä saatetaan törmätä mitoittamisen varmuuden kannalta ongelmiin. Vanhat, erääntyneet laskentamenetelmät ovat saattaneet poiketa toisistaan jo rakennusta tehdessä, riippuen aikakaudesta sekä eri suunnittelijoista ja valvoista. Myös rakentamisessa laadunvaihtelu oli aikoinaan suurempaa, eikä täten voida luottaa kunnolla rakenneavauksessa paljastuneisiin yksittäisiin asioihin. Nykypäivänä tuleekin vastaan monenlaisia vanhoja rakennuksia, jotka ovat seisseet ryhdikkäänä paikallansa jo vuosikymmeniä ja ovat edelleen käytössä. Kuitenkin tarkastaessa nykyisten laskentamenetelmien ja normien mukaan, on rakenne riittämätön kantamaan suunnitellut kuormat, ja rakenteiden kapasiteetit ylittyvät. Tämä synnyttää ristiriitaisuuksia. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Tämän vuoksi vanhojen rakennusten kantavien rakenteiden analysointi vaatii tietämystä aikaisemmin käytetyistä rakentamismääräyksistä ja -tavoista. Nykyisissä eurokoodeissa, verrattuna rakentamismääräyskokoelmaan, on eroja muun muassa jo pelkästään suunnittelukuormissa ja osavarmuuskertoimissa, mitkä näkyvät nopeasti rakenteiden mitoituksessa. Analysointi voi osoittautua hankalaksi myös puutteellisesti dokumentoitujen mitoitusosien osalta, esimerkiksi teräsrakenteiden mitoitus on voitu aikoinaan suorittaa tuontimaassa, jolloin niiden laskelmat eivät ole enää tallessa. Laskennassa on voitu myös käyttää olettamuksia, joita nykyään ei kunnolla tunneta tai tiedetä, tai rakenne ei käyttäydy painaumien vuoksi suunnitellulla tavalla. (RIL 174-4, 1988, s. 140–142)

### 3.2 Rakentamismääräykset korjaushankkeen kannalta

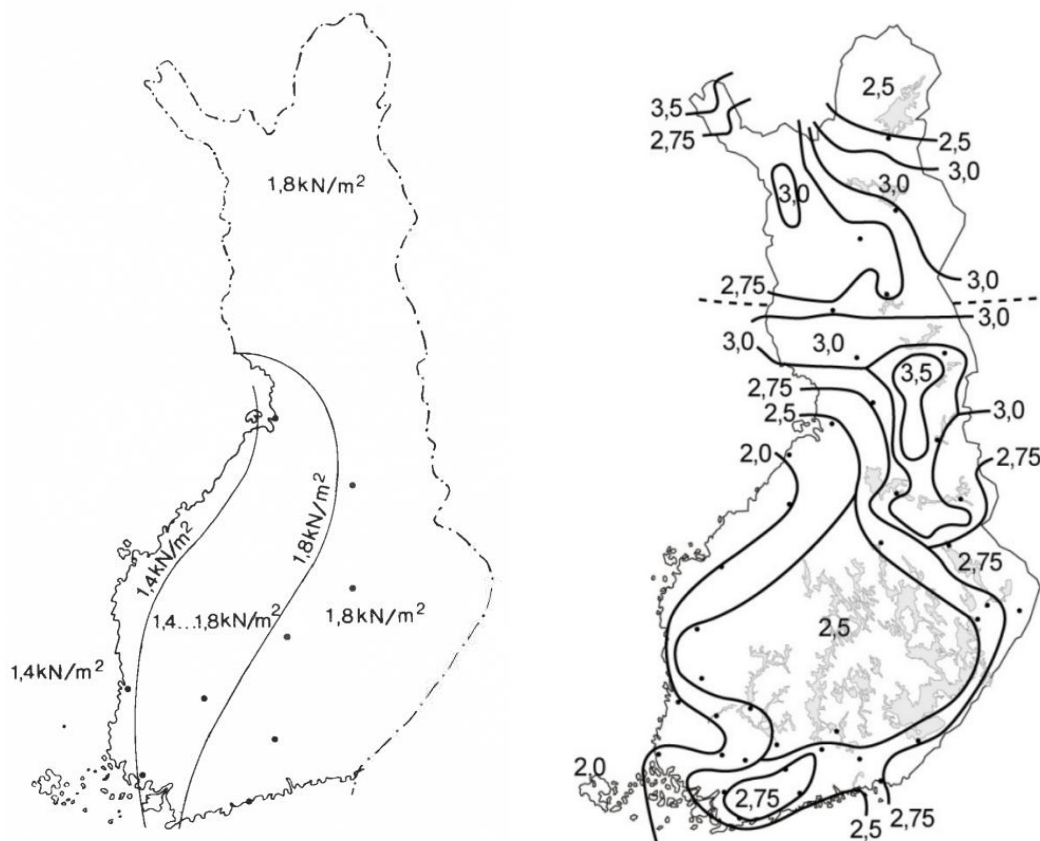
Nykyisen kaltainen laatujärjestelmä on mahdollistanut suhteellisen tarkan mitoittamisen. Tämän vuoksi rakentamisessa käytetään nykyään paljon varmuuskertoimia. Yksittäisissä rakenneosissa otetaan huomioon jo monia eri osavarmuuksia, kuten muun muassa virumaa, taipumaa, kokonaisvarmuutta, kosteudesta sekä materiaalista johtuvaa varmuutta. Lisäksi nykyään huomioidaan globaaleja varmuuksia rakenteen kokonaisstabiiliuden kannalta, esimerkiksi pilarien suoruuksien, kuormien epäkeskisyyksien ja toleranssien suhteen. Nämä auttavat ehkäisemään materiaalisia- ja valmistusvirheitä, työmaalla aiheutuvia erheitä sekä äärimmäisistä kuormitustilanteista syntyviä tilanteita, jotta rakennus ja sen kokonaisstabiilius ei vaarannu. Ongelmaksi muodostuu se, että nykyisellään kyseiset osavarmuuskertoimet eivät välttämättä riitä kattamaan vanhojen rakenteiden eri syistä johtuvia rakenteellisia virheitä. Nämä syyt liittyvät materiaalin, tuotannon, työmaan sekä suunnittelun vaillinaiseen laaduntarkastukseen entisaikoina. Tämän vuoksi, analysoitaessa olemassa olevia rakenteita, on nämä aina käsiteltävä ja tarkistettava erikseen, riippuen käytetyistä laskentamenetelmistä. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Analysoitaessa vanhojen rakenteiden kestävyyskärsiä, ongelmaksi voi muodostua tieto aikoinaan käytettyjen materiaalien ominaisuuksista. Tällöin visuaalisesti arvioitaessa rakennetta ja materiaalin ominaislujuutta, sen kuntoa ei aina saada tarkasti selvitettyä. Tämän vuoksi rakenteista olisi tehtävä myös rakennetutkimuksia ja ottaa koepaloja rakennusmateriaalista, jotta saadaan selvitettyä käytettyjen rakennemateriaalien todelliset ominaisuudet. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Myös eri kuormitukset ja kuormitusyhdistelmät ovat muuttuneet vanhemmista suunnittelunormeista. Näistä aikaisemmin käytetyissä, varsinkin suunnittelussa käytetty lumikuorman ominaisarvo maan pinnalla, on lisääntynyt huomattavasti. Lumikuormat ovat aiheuttaneet ongelmia jo monena vuotena rakennuksille. Vuonna 2018 aiheesta on esiintynyt enemmän artikkeleita verrattuna muihin vuosiin, missä varoiteltiin liian suurista lumimääristä ja sen poistamisesta katolta aina tarvittaessa. Kuten kuvista 1 ja 2 voidaan huomata, lumikuormien paikalliset erot vaihtelevat, joista suurimmat erovaihtelut normien välillä ovat Pohjois- ja Itä-Suomessa. Näiden arvot ovat nousseet ennen kansallisen liitteen

käyttöönottoa, ja sen mukaisia arvoja, mutta ovat olleet melkein koko maassa alijäämisiä nykyiseen peruslumikuormaan verrattuna.

Kuva 1 ja 2. Muuttuneet kansalliset lumikuorman arvot. Vasen kuva on vuoden 1983 RakMK B1 määräyksistä ja oikeanpuoleinen kuva nykyään käytetystä Suomen kansallisesta liitteestä. (Sisäasiainministeriö, 1982, s. 4; Ympäristöministeriö, 2019, s. 15)



Tarkasteltaessa korjauskohteiden kantavuuksia ja rakenteiden toimivuutta, on muuttuneella lumikuorman arvolla jo pelkästään analysoinnin kannalta selkeitä eroja. Nykyään käytettävä peruslumikuorman arvo päivittyy suurimman arvon mukaan, mikä on esiintynyt viimeisen 30 vuoden aikana. Varsinkin rakenteiden ennallistamistapauksissa sekä muissa hankkeissa, joissa voidaan käyttää vanhempia suunnittelunormeja, on harkittava tarkkaan mitä laskennallista perusarvoa lumikuormalle käytetään, jos todellinen lumikuorma voi ylittää rakentamisajankohdan mukaisen esiintyneen peruslumikuorman arvon. (Vesi, n.d.)

Hajanaisen laadunvarmistuksen takia käytettyihin suunnitteluarvoihin ei voida edes aikansa normien perusteella luottaa. Kuitenkin laadukkaasti tehtyjen mitoituslaskelmien voidaan olettaa osuvan oman aikansa kuormitusten mukaisiin kantavuuksiin. Näissä laskelmissa voidaan silti tavata, erityisesti ennen kansallisten normien syntyä, erilaisiin laskentamenetelmiin. Tällöin kantavuudet saattavat vaihdella eri suunnittelijoiden välillä. Samaten vastaan voi tulla liian pienet peruskuormitukset, mutta ei pelkästään esimerkiksi lumikuorman osalta, vaan huomioimatta on voitu jättää muun muassa tuulikuorman tai todellisten palokuormitusten vaikutus rakenteen kokonaiskapasiteettiin.

### **3.3 Laadunvarmistuksen tuoma hyöty**

Laadunvarmistuksen kehittyminen parempaan suuntaan on tuonut rakennuskantaa ajatellen monia hyötyjä. Laadunvarmistusprosessien kehittymisen ansiosta virheet ja viat ovat olleet helpommin sekä nopeammin havaittavissa. Parempi laatu on lisännyt rakennusten luotettavuutta käyttäjän huoltotarpeesta katsoen, eikä rakennuttajan tai käyttäjän tarvitse pelätä rakennuksen eliniän puolesta. Samalla se on luonut tehokkaampia rakenneteollisia ratkaisuja, minkä takia rakennushankkeissa ei tarvitse käyttää aikaa esimerkiksi epäonnistuneiden elementtien paikkaamiseen. Käyttäjät voivat luottaa siihen, että rakennukset ja rakennelmat ovat rakennettu asianmukaisesti standardien mukaan ja kestävät käyttöä sekä ovat turvallisia ja terveellisiä.

Nykyään rakentamisessa käytetään CE-merkittyjä tuotteita, mikä takaa osin rakentamisen laatua materiaalien osalta. Yksi vaadittavista dokumenteista CE-merkintään on suoritusasoitus, josta näkyy tuotteen kaikki ominaisuuksien arvot, jotka kansalliset viranomaisasäädökset täyttävät. Korjausrakentamiseen tämä vaikuttaa myös, sillä materiaaleja ei saa käyttää uudelleen ilman virallista arviointia materiaalin kunnosta. (Ympäristöministeriö, n.d.-a)

## 4 Korjausrakentamisen selvitys ja suunnittelu

Rakennushankkeen valvonta ja laadunvarmistus on parantunut entisajoista. Tämä näkyykin siinä, kun rakennetaan terveellisempiä ja kestävämpiä rakennuksia, vaaditaan myös rakennushankkeeseen osallistuvilla henkilöiltä ja organisaatiolta pätevyyskriteerejä eri tehtäviin.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on oltava hankkeen vaativuus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava myös siitä, että rakennushankkeessa on kelpoisuusvaatimukset täyttävät suunnittelijat ja työnjohtajat ja että muillakin rakennushankkeessa toimivilla on heidän tehtäviensä vaativuus huomioon otettuna riittävä asiantuntemus ja ammattitaito. (Ympäristöministeriö, n.d.-b)

Ympäristöministeriö on laatinut ohjeita, säädöksiä ja määräyksiä, joissa on määritelty suunnittelijoille sekä työnjohtajille eri pätevyysvaatimuksia riippuen kohteen vaatimustasosta. Tällä on pyritty vähentämään muodostumasta haitallisia organisaatioita sekä yksittäiselle ihmiselle keskittävää vastuualtaa, jolloin myös virheitä kyetään minimoimaan. Vain pienissä uudis- ja korjauskohteissa, vaativuusluokiltaan vähäinen, voidaan ohjeen mukaan vaatia riittävä osaaminen kyseiseen tehtävään, joihin lukeutuu yleensä alle 25m<sup>2</sup> kokoista, asuinkäyttöön soveltumatonta rakennusta uudisrakentamisen osalta. Kuitenkin paikallinen rakennusvalvontaviranomainen tarkastaa henkilön pätevyyden tapauskohtaisesti. Vaikka nykypäivänä on käytössä laadukkaita suunnitteluohjelmia, jotka antavat helposti suoraan tiettyjä kuormituksia ja rakenteiden kestävyyskriteerejä, eivät nämä kuitenkaan riitä yksinään hyväksytyksi suunnitteluksi, vaan takana täytyy olla pätevä suunnittelija. Korjausrakentamisessa pätevyysvaatimukset uudisrakentamiseen verrattuna on samankaltaiset. Kuitenkin itsenäisesti toimiminen edellyttää kokemusta myös korjausrakentamisesta. (Ympäristöministeriö, 2015)

Tätä kaikkea valvoo kunnan rakennusvalvontaviranomainen, aina luvanvaraisen rakennustyön aloittamisesta loppukatselmukseen. Valvojan tehtävänä on huolehtia, että lain mukaisia määräyksiä ja säädöksiä noudatetaan, ja pätevyysvaatimukset täyttyvät hankekohtaisesti. Hankkeen laajuus riippuu rakennushankeen vaatimustasosta, jonka valvoja itse määrittelee riippuen korjauskohteesta, hakijasta ja toteuttamista vastaavien henkilöiden ammattitaidosta. (Ympäristöministeriö, 2015)

Aina rakennuslupaa ei tarvita. Joissain tilanteissa pienimuotoinen hanke voi mennä toimenpideilmoituksella tai toimenpideluvalla. Näiden ero riippuu eri paikkakuntien ja rakennusvalvontaviranomaisten välillä. Aivan pienet korjaus- sekä ennallistamistyöt ja rakennuksen ylläpitävät remontit eivät vaadi lupaa, mutta näistäkin on poikkeuksia. Museoviraston suojelamat kohteet vaativat aina vähintään toimenpideselvityksen historiallisen merkittävyytensä takia. Samoin asemakaava saattaa määritellä kohteelle jotain rajoituksia, jotka selviävät parhaiten omasta kunnallisesta rakennusvalvonnasta. Monesti asemakaavoitus määrittelee julkisivuille ja kattorakenteiden muodoille säädöksiä. Luvanvaraiset työt voidaan selvittää ja varmistaa paikalliselta rakennusvalvonnalta. (Rakentaja, 2023; Mäenpää Harri, henkilökohtainen tiedonanto, 1.2.2023)

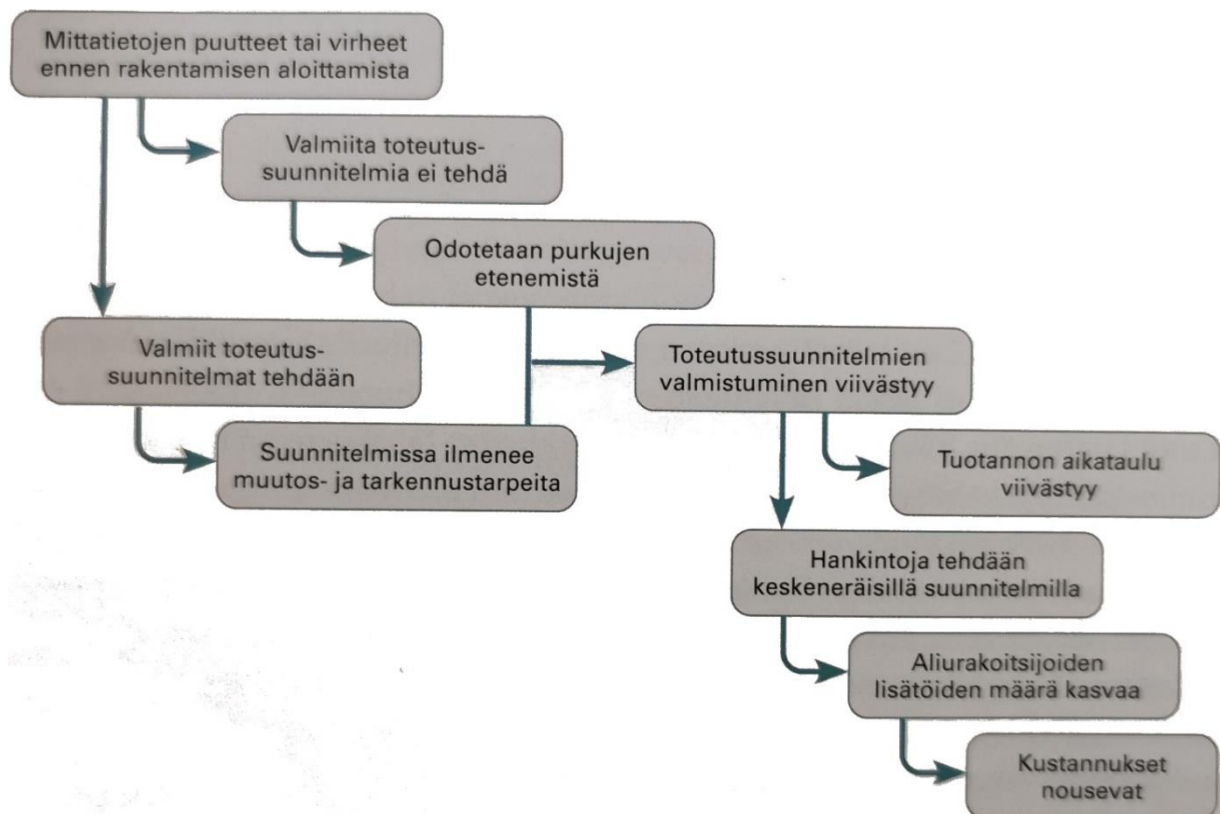
Korjausrakentamisessa rakennuslupaa ei aina tarvita, mutta puhuttaessa kantavista rakenteiden vahvistamisesta, lupa vaaditaan lähes aina. Jos työ on verrattavissa uudisrakentamiseen tai rakenteiden terveys ja turvallisuus muuttuvat, esimerkiksi huoneiston tai käyttötarkoituksen muutosten yhteydessä, rakennuslupa tarvitaan. Rakenneosien purkaminen vaatii monesti vähintään toimenpideilmoituksen paikkakunnan rakennusvalvontaan. Palo-osastoinnit ja hormien rakentaminen kuuluvat myös luvanvaraisiin rakenneosiin. Kuormitusten lisääntyessä, rakennusta laajentaessa sekä kerrosalan lisääntyessä lupahakemus vaaditaan. Samoin lupa tarvitaan myös, jos rakennuksen vaipan tai muiden teknisten järjestelmien muutokset vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen huomattavasti. Hankeen edetessä, aina alkuperäisistä lupahakemuksista poikettaessa, on uusille muutoksille haettava uudelleen hyväksyntää, myös uudisrakentamisessa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/5.2.1999)

Maankäyttö- ja rakennuslain on tarkoitus uudistua vuonna 2025, mikä toisi muutoksia edellä mainittuihin lupien ja pätevyyksien hakemiseen. Suunnittelu- ja työnohtotehtävien luokat kasvaisivat neljästä viiteen luokkaan. Samalla rakennusvalvonta luopuisi suunnittelijoiden ja työnohtajien pätevyyden tutkinnasta, vaan pätevyyden saisi erillisellä todistuksella ympäristöministeriön valtuuttaman toimielimen kautta. Myös rakennuslupa, toimenpidelupa ja toimenpideilmoitus kaikki olisivat jatkossa vain yhden lupamuodon takana, joka toimisi pelkästään nimikkeellä rakentamislupa. Tämä mahdollistaisi alle esimerkiksi 30 neliöisen saunarakennuksen rakentamisen ilman rakentamislupaa. Kuitenkin kaiken rakentamisen olisi jatkossa noudatettava kaavoituksen mukaisia määräyksiä ja säädöksiä. (Ympäristöministeriö, 2022)

## 5 Korjausrakentamisen vaatimukset

Korjausrakentaminen edellyttää suunnittelijalta ja rakentajalta laajaa käsitystä sekä rakentamisesta yleisesti että käytetyistä materiaaleista, rakennustavoista ja tavanomaisista rakennetyypeistä, joita aikoinaan on käytetty. Vaurioiden selvittämiseen on käytettävä resursseja sekä huolellisuutta, jotta saadaan selvitettyä ja tunnistettua kaikki rakenteelliset viat, riskialttiit rakenteet ja muut rakennuksen toimivuuteen, käytettävyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat asiat. Tämä kuitenkin nähdään monesti ylimääräisenä kuluna, ja toteutetaan usein liian kapeasti. Tämä lisää riskiä koko rakennushankkeen epäonnistumiselle. Korjausrakentamisessa suunnittelijan ja rakentajan yhteistyö korostuu vastaan tulevien ongelmien ratkaisussa aina purkutöiden edetessä. Tämän vuoksi korjausrakentaminen on vaativaa työtä, sillä asioiden lopullinen tila selviää vasta hankkeen alettua purkutöiden edetessä, milloin se aiheuttaa suunnittelijoille enemmän aikataulupainetta sekä enemmän osallistumista verrattuna uudisrakentamiseen. Kuvasta 3 voidaan nähdä lähtötietojen hankinnan ja laadukkaan suunnittelun vaikutusketju korjaushankkeelle.

Kuva 3. Havainnollistava ajatuskartta lähtötietojen ja suunnittelun vaikutuksesta korjaushankkeelle. (Uotila ym, 2021, s. 53)



Korjattaessa vanhoja kohteita, tulisi suunnittelun lähtökohdaksi selvittää rakenteiden todelliset kuormitukset, sillä nämä saattavat poiketa huomattavasti alkuperäisistä suunnitelmista. Samalla kuin pohditaan rakennuksen korjausvaihtoehtoja, on hankkeen yhteydessä tehtäville muutoksille hyvä miettiä myös rakennuksen muuntojoustavuutta, rakenteiden näkökulmasta miettien. Esimerkiksi kerroskorottaminen tai käyttötarkoituksen muutos ovat vaativia, mutta nykyaikana lisääntyviä, tehokkaita ja ekologisia ratkaisuja riippuen eri kohteista. Kuitenkin lisärakentamisessa ja käyttötarkoituksen muuttuessa, vastaan tulee nopeasti vanhojen, olemassa olevien rakenteiden kapasiteetin ja mitoituksen ylittyminen. Tämä lisää haasteita rakennesuunnittelua ajatellen, sillä ei ole optimaalista vain ylimitoittaa koko rakennetta tai päinvastaisesti purkaa ja rakentaa uutta. Tästä hyvä nykyaikainen esimerkki sijaitsee Helsingin Ilmalassa, rakennusliike Consti Oy:n työmaalla, minne rakennetaan toimistotaloa vanhan parkkihallin päälle. Aikoinaan 2015 valmistunutta parkkihallia tehdessä oli tiedostettu mahdollinen lisärakentaminen, mistä syystä rakenteita ei tarvinnut kohteessa vahvistaa. (Tompuri, 2022, s. 26–27; RIL 174-4, 1988, s. 119)

## 5.1 Lähtötietojen selvitys

Korjauskohteissa ongelmia voi löytyä laajastikin koko rakennushankkeesta katsoen monesta eri osasta. Voidaan törmätä rakentamisajankohdan lainsäädännön vaatimuksien puutteisiin, alkuperäisten suunnitelmien puutteellisuuteen, kosteus- ja mikrobivaurioihin, LVIS-järjestelmien puutteisiin, monipuolisesti erinäisiin rakenteellisiin vaurioihin, rakennuksen historiallisen arvokkuuden ja rakennuksen käytettävyyden ja turvallisuuden heikentymiseen. Tästä syystä saneeraushankkeeseen ryhtyessä kohteesta on tehtävä perusteellinen esiselvitys, josta selviää rakenteissa piilevät vauriot, näiden vakavuusaste sekä alustavat raamit kustannuksille. Samalla on tärkeää myös tarkistaa aikaisemmin tehdyt muutos- ja korjaustyöt. Näiden avulla saadaan myös selvitettyä rakennuksen korjausaste. Viimeistään tarveselvityksen jälkeen hankesuunnitteluvaiheen yhteydessä, on tärkeää selvittää, onko rakennus ylipäättänsä korjattavissa. Rakenneanalyysin kannalta olisi tärkeää saada selville rakenneosien muoto ja poikkileikkaus sekä materiaalin kunto ja pituus. (Uotila ym, 2021, s. 17)

Ennen kuin korjauskohteen rakenteita puretaan, on tärkeää selvittää rakenteelliset vauriot, ja ymmärtää rakenteiden rautalankamallia, miten rakenne käytännössä toimii. Vanhoilla kohteilla voi olla ongelmana löytää rakennepiirustuksia, puhumattakaan niiden ajantasaisuudesta ja luotettavuudesta. Jos rakennepiirustuksia tai -suunnitelmia löytyy, ne eivät välttämättä riitä sellaisenaan kertomaan koko rakennuksen historiaa, mistä ja miten se on tehty, millä toleransseilla ja laatuvaatimuksilla. Aikoinaan suunnitellut rakenteet ovat voitu soveltaa työmaalla rakentamisen yhteydessä, eikä muutoksia aina ole arkistoitu talteen. Ajansaatossa rakenteet ovat voineet painua, ja kevyet rakenteet ovat voineet muuttua osin kantaviksi. Ei-kantavat rakenteet on voitu myös rakentaa työmaalla kantaviksi, vanhoista suunnitelmista poiketen. Näitä työmaalla sovellettuja ratkaisuja voi olla haastava tunnistaa jälkeenkäin. Vanhoissa suunnitelmissa voi esimerkiksi pilarien paikat ja kaltevuudet poiketa huomattavastikin todellisesta. Tämä on omiaan vähentämään rakenteen laskennallista kantavuutta entisestään heikkojen valmistus-, asennus- ja materiaalitoleranssien lisäksi. (RIL 174-4, 1988. s. 30–82)

Tämän vuoksi korjauskohteissa on monesti suoritettava erinäisiä tarkemittauksia rakenteiden sijaintien sekä vanhojen asennustoleranssien suhteen. Mittauksissa voidaan hyödyntää perinteisen mittanauhan lisäksi linjalaseria ja vaaitusta sekä takymetria. Myös nykypäivänä yleistynyttä laserkeilainta voidaan käyttää apuna rakenteiden paksuuksien sekä seinälinjojen tarkkaan mittaamiseen, ja mitä hyödyntämällä voidaan vanhoja kohteita siirtää tietomalliin. Mittauksista voidaan tehdä mittauspiirustukset. (Kolehmainen, 2018, s. 26–28)

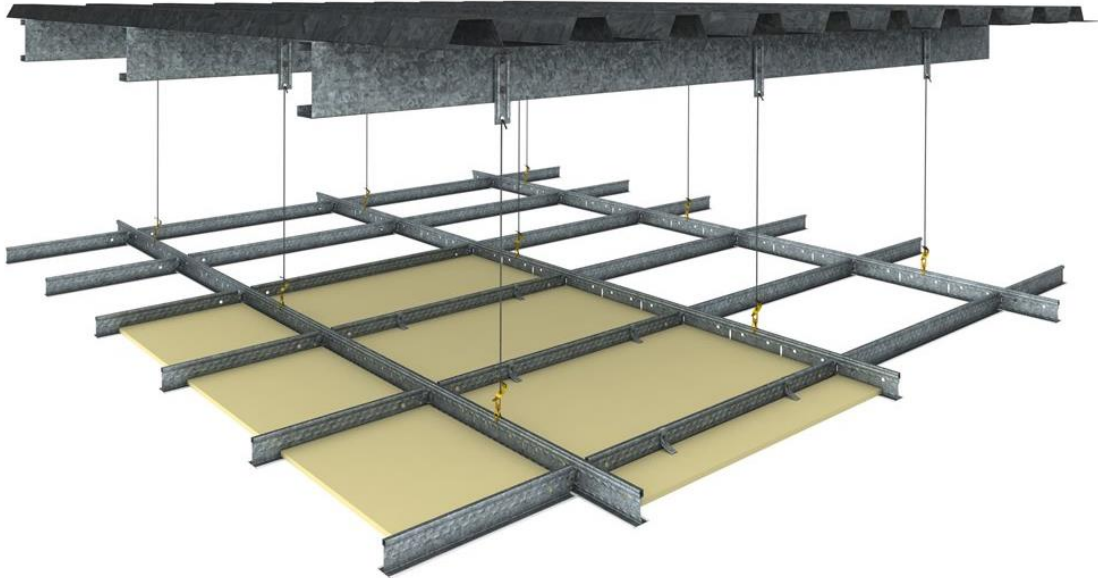
Rakenneselvitystä, voidaan tehdä ainetta rikkovilla ja rikkomattomilla tavoilla. Rakenteelle voidaan tehdä kimmovasara-, koputus- ja ultraäänikokeita, joilla vältytään materiaalin rikkomiselta. Kuitenkaan näillä keinoilla ei aina saada tarpeeksi luotettavaa ja kattavaa kuvaa rakenteesta. Rakenteista voidaan myös ottaa koepaloja ja -näytteitä, joiden avulla voidaan suorittaa testejä, mistä selviää rakenteiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä käyttö- ja murtorajatilassa. Tämän vuoksi rakenteita täytyy yleensä purkaa siinä määrin missä se on mahdollista, mutta se on työlästä ja rakenteille haitallista. Materiaalia rikkovat menetelmät voidaan jakaa karkeasti koviin ja pehmeisiin menetelmiin. Kovia menetelmiä ovat muun muassa Suomessa harvemmin käytetty purkupallo ja yleisempi piikkaus. Esimerkiksi teräsbetonipalkkien kantavuutta voidaan tutkia osittaisella rakenneavauksella, joka voidaan

suorittaa betonipalkin jännevälin keskimmaisella kolmanneksella, paljastaen osittain palkin raudoitteet. Pehmeämpiin menetelmiin lukeutuu muun muassa poraus, jolloin rakenteeseen porataan tutkimusreikä, samalla siinä näkee myös rakennemateriaalin käyttäytymistä poraustilanteessa. Rakenteessa käytetyn materiaalin lujuusluokittelu voidaan tehdä visuaalisesti oksaisuuden, halkeamien, kierouden ja vääryyden perusteella tai koneellisesti taivuttamalla ja muilla eri mittauksilla. (RIL 174-4, 1988, s. 30–149)

Ongelmia voidaan lähteä tarkastelemaan pääkannattimien ja pilareiden sijaintipoikkeamista, esimerkiksi tarkemittaamalla yksittäisten rakenneosien poikkileikkaus, lenkoudet, sisäiset vinoudet, varmistamalla pystysuoruudet sekä jännevälit ja keskeltä keskelle -jako. Eri rakenteissa käytetyt materiaalit sekä näissä tapahtuvat muodonmuutokset, taipumat, reiät, aukot ja vauriot on tarkasteltava. Samoin liitoksissa esiintyvät sijaintipoikkeamat, kulumat, muodonmuutokset, käytetyt kiinnikkeet ja niiden kunto, reunaetäisyydet sekä puutteet on syytä tarkastaa huolella. Rakenteiden jäykistävät elimet on tarkastettava, jotta rakennuksen vaatimista kohdista löytyy nurjahdustuennat sekä seinien ja katon jäykistykset. (RIL 246-2008, s. 10–55)

Aikaisempien asennuksien sekä muutosten vaikutukset rakenteisiin on syytä tarkastella. Esimerkiksi ripustuskuormat voivat olla yllättävän haitallisia rakenteiden kantavuuden ja kestävyyskannalta, sekä aikaisemmin mahdollisesti siirretyt kantavat rakenteet ovat voineet muuttua siirron myötä kriittiseksi lisääntyneiden kuormien takia.

Kuva 4. Esimerkki ripustuskuormista. (Architecture & Design, n.d.)



Rakenteissa esiintyvät halkeamat on syytä tunnistaa, sekä tarkastaa ja paikallistaa haitallisten halkeamien juuri syy. Tärkeää on kiinnittää huomiota myös ympäristön kosteuspitoisuuteen, jolla voi olla ajan myötä suuri vaikutus rakenteiden kantavuuksiin. Jo pelkästään korkea kosteuspitoisuus puumateriaalissa vähentää sen kannattavuutta. Pitkälle edenneenä haitallinen ympäristö näkyy puurakenteissa kosteusvaurioina, homeen ja lahon esiintymisenä, jotka on voinut syntyä esimerkiksi sammutusvesistä tai muusta pitkäaikaisesta altistumisesta kosteudelle. Ympäristön vaikutus teräksisissä sekä betonisissa rakenteissa aiheuttaa korroosiota ja rapautumista, joiden laajuutta ei aina silmämääräisesti voida havaita, ja sitä on siksi tarkasteltava huolellisesti. Materiaalin sopivuus ympäristöön on tarkistettava. Myös jo pienen tulipalon aiheuttamat vaikutukset on syytä tarkastella. Aikoinaan käytetyn betonin yleinen ongelma tämän valmistuksen laadussa, jolloin suunniteltu puristuslujuus ja kestävyys ei ole aina toteutunut esimerkiksi heikon vesi-sementti -suhteen takia. Puurakenteissa tuki- ja leimapaine on syytä tarkastaa. Liitteessä 1 puurakenteiden kuntotarkastuslomake, jonka avulla voidaan tehdä rakennetarkastelua puurakenteisten hallirakennusten rakenteille. Sitä voidaan myös soveltaa muista rakennemateriaaleista tehtyihin rakenteisiin, huomioiden kuitenkin materiaaleille tyypillinen käyttäytyminen ja ominaiset vauriomekanismit. (RIL 246-2008, s. 10–55; Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Myös kaikki aukot, roilot, reiät ja loveukset heikentävät rakenteiden kantavuutta, jolloin pienikin kuorman lisäys saattaa aiheuttaa rakenteen romahduksen. Kaikki rakenteisiin tehtävät muutokset, aukotukset ja kuormien poistot on huomioitava myös ylä- ja alapuolisissa rakenteissa. Esimerkiksi: Monikerroksisen rakennuksen kantavaan seinään on aikoinaan tehty aukko. Myöhemmin haluttaisiin tehdä aukko saman kantavan seinän eri kohtaan. Tämä voi osoittautua mahdottomaksi. Jos aiempia aukkoja ei tarkastella, voi seinän rakenteellinen toiminta kärsiä. Tämä saattaa johtaa näiden heikentyneiden rakenteiden sortumiseen tai vaurioihin. Reikäpiirustukset ovat tämän takia huomattavasti tärkeämpiä korjauskohteessa kuin uudisrakentamisessa, sillä useaan otteeseen muutetun ja korjatun rakennuksen rakenteet voivat toimia kokonaisuutena, mutta väärään paikkaan sijoitettu reikä voi olla kohtalokas. Vanhemmissa kohteissa reikien tarve on yleensä suuri, varsinkin jos LVIS-järjestelmiä ja näiden läpivientejä tulee kohteeseen paljon. Myös tutkimusreikiä tehdessä on oltava huolellinen ja varmistettava, ettei tutkimusaukkoa tai -reikää tehdessä rakenteiden kantavuudet eivät kärsi ja jäykistäviä rakenne-eliimiä ei rikota. Reikien sijoittelua rajoittaa voimakkaasti vanhat rakenteet. (RIL 174-4, 1988, s. 36–45)

Rakennuksen perustukset ja pohjaolosuhteet saattavat vaatia tarkastamista, jos kohteen perustuksiin kohdistuvaa kuormaa aiotaan lisätä, uusia perustuksia lisätään tai muutetaan, tai pohjakerroksia ja perustuksia ulotetaan syvemmälle. Tietyissä kohteissa myös muuttuneet ympäristö- ja pohjaolosuhteet johtavat perustusten tarkasteluihin ja mahdollisiin korjaustoimenpiteisiin: esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa, jotka ovat puupaalujen varaan perustettu, pohjavedenpinnan lasku altistaa puun lahoamiselle ja perustusten heikkenemiselle. Huomiota on kiinnitettävä myös perustusten painumisesta johtuviin yläpuolisten rakenteiden muodonmuutoksiin. Jos rakenteissa ei ole havaittavissa painumisesta aiheutuneita vaurioita tai muodonmuutoksia, on rakennuksen perustamistapa aikoinaan ollut oikea. Maaperän laadun selvittämiseen voidaan käyttää geoteknisiä tutkimuksia, myös koekuoppia voidaan käyttää perustusten kunnan selvittämiseen. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Ongelmallisia rakenteita ovat myös rakennuksen jäykisteet, siteet ja vetotangot. Näiden paikantaminen voi olla hankalaa, eikä tavanomainen rakenneselvitys ole monestikaan tarpeeksi kattava tunnistaakseen kyseisiä rakenne-eliimiä. Samalla näiden sivuuttaminen

saattaa johtaa vaurioihin, jotka voidaan havaita vasta vuosien kuluttua. Tässä onnistumisen kannalta olennaiseksi muodostuu rakennusliikkeen ja suunnittelijan tiivis yhteistyö sekä ammattitaito, jolloin kyseiset rakenne-elimet voidaan tunnistaa purkutyön edetessä. (RIL 174-4, 1988, s. 30–45; Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Olemassa olevaa rakennetta voidaan rikkoa kantamattomaksi jo esitietojen hankinnan yhteydessä, jolloin rakenteen kapasiteettiä saatetaan heikentää huomattavasti. Ongelmat eivät välttämättä esiinny heti ja varoita olemassaolostaan, vaan näiden ilmaantuminen saattaa viivästyä. Sama tilanne tulee yllättäen vastaan erinäisissä purkukohteissa, kun rakenteita aletaan purkamaan väärässä järjestyksessä, luoden toiminnaltaan viallisia, kantamattomia rakennemekanismeja. Tämä johtuu yleensä joko puutteellisesta suunnittelusta tai urakoitsijan vääränlaisesta toiminnasta. Tapauksia löytyy niin Suomesta kuin ulkomailtakin. Esimerkiksi vuonna 2018 sortunut Marlborough House -kerrostalo Miamiassa ja 2013 sortunut Salvation Army -rakennus Philadelphiassa. (WPLG Local 10, 2018; ThePhillyLawyers, n.d.)

## 6 Rasitus- ja vahvistustyytit

Korjaus- ja vahvistamisvaihtoehdot riippuvat paljon käytetyistä rakentamisajankohdan rakennemateriaaleista ja rakennusmenetelmistä sekä esiintyvistä vaurioista. Ongelmallisia kohteita ovat museoviraston suojelemat, historiallisesti merkittävät kiinteistöt. Näissä rakenteiden kapasiteetti ylittyy monesti nykynormien valossa, eikä niiden vanhoja rakenteita ja arkkitehtuuria aina saa muuttaa rakenteiden toimivuuden kannalta parhaalla tavalla. Tämän tyylliset kohteet ovat monesti vähintäänkin vaativia suunnittelu- ja rakennuskohteita, jolloin on sovellettava nykynormeja vanhojen määräysten kanssa. Tämänkaltaisissa tilanteissa, joissa rakenteiden vahvistamistoimenpiteet johtaisivat korkeisiin kustannuksiin tai muuten rakenteiden muutostöitä ei ole mahdollista toteuttaa, on mahdollista sallia pieniä jännitysten ylityksiä. Tämä kuitenkin vaatii hyväksynnän paikalliselta rakennusvalvonnalta sekä tarkan selvityksen rakennusvalvontaviranomaisen näin edellyttäessä, että olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät käyttöiän, -kelpoisuuden ja rakenteiden lujuuden ja vakauden osalta. Rakennuksen käyttäjien turvallisuus ja terveellisyys ei saa vaarantua. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/5.2.1999; Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014; RIL 174-4, 1988, s. 46)

Jos kohteissa ei suuria korjaustöitä tehdä tai ne eivät kohdistu kantaviin rakenteisiin, eikä rakenteissa esiinny vaurioita ja kuormitukset säilyvät samana, on mahdollista jättää kantavuuden tarkastelut tutkimatta. Vaurioiden mukaiset vahvistukset ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä riippuen kohteesta, minkä vuoksi edes tietyntyyppiseen vaurioon ei voida tehdä yhtä, kaikille sopivaa ohjetta. Käytetty vahvistamistapa jää lopulta suunnittelijan vastuulle. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022; RIL 174-4, 1988, s. 30–45)

Kun rakenteiden vahvistaminen tulee kyseeseen, on rakenneosan vahvistamistavan valintaa tehdessä tärkeää analysoida rakenteen toimintaa; miten rakenne on kärsinyt, mikä on sen kriittisin kuormitustapa sekä miten rakenne voi pettää. Lisäksi on syytä tarkistaa vahvistettavan alueen tila, jossa työskennellään, sillä tämä saattaa todella monessa kohteessa rajoittaa tiettyjen vahvistustoimenpiteiden käyttöä. Esimerkiksi joissain museoviraston suojelemien rakennuksien välipohjan paksuutta ei saa muuttaa, mikä voi luoda hankaluuksia

sen mahdollisessa vahvistamisessa. Kuitenkin on syytä varmistaa, ettei vahvistustoimenpiteitä kyetä toteuttamaan yksinkertaisilla ratkaisuilla, esimerkiksi lisäämällä uusia pilarirakenteita vahvistaakseen pilarirakenteiden tai välipohjan kantavuutta. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022) ”Tervettä rakennetta on turha poistaa.” (Korkala ym 1994, s. 124)

Kuitenkin rakenteet on syytä tarkastaa perinpohjaisesti, sillä jos vain näkyvät vauriot paikataan, rakenteeseen voi jäädä merkittävästi vaurioitunutta rakennetta. Esimerkiksi, jos vain korroosiovaurioista kärsivien teräsbetonirakenteiden pintapuoliset korroosiovauriot paikataan, voi rakenteen sisälle jäädä runsaasti raudoitusta, joka on yhä korroosiotilassa. Tämän vuoksi muun muassa kosteuden ja ympäristön aiheuttamat rasitteet on syytä paikantaa. Sama asia voi ilmetä myös puurakenteisissa rakenneosissa, joissa laho ei ilmene heti puun pinnalta. Tällöin vauriot saattavat uusiutua nopeasti jo muutamassa vuodessa toimenpiteiden jälkeen. (Suomen Betoniyhdistys, 2016, s. 23)

Tarvittava vahvistamistapa on syytä selvittää, minkä pohjalta voidaan mitoittaa optimaalisin vahvistamistapa. Kuormitukset saattavat häiritä rakennetta esimerkiksi vain käyttörajatilassa tarkasteltuna, jolloin tietyt toimenpiteet eivät edesauta ongelman ratkaisua. Esimerkiksi palkin taivutuskestävyyttä ja taipumaa voidaan rajoittaa alapuolisilla teräsvahvikkeilla, jolloin rakenteen tukipinta-alan lisääminen eivät tässä tapauksessa lisää rakenteen tarvittavaa kapasiteettiä.

Eri vahvistustoimilla voidaan lisätä vaakarakenteiden taivutus- tai leikkauskestävyyttä ja pystyrakenteiden puristuskestävyyttä sekä jäykkyyttä. Vahvistamalla voidaan myös vähentää käyttötilan taipumaa ja halkeilua. (Suomen Betoniyhdistys, 2016, s. 79)

Vahvistuksen vastaanottamat kuormitukset voidaan myös suunnitella eri tavoin. Pääasiassa voidaan huomioida pelkästään rakenteen mitoituksen ylittävän osuuden mukaista vahvistustyyppiä, jolloin myös rakenteen muut ominaisuudet saattavat parantua. Kuitenkin tietyissä, esimerkiksi raskaissa betonirakenteissa, poikkileikkauksen lisääminen saattaa aiheuttaa ongelmia myös muissa rasitustyypeissä. Uuden ja vanhan rakenneosien kuormitus

voidaan suunnitella toimimaan kokonaan yhdessä tai erikseen. Riippuen kohteesta, sen käyttötarkoituksesta ja muista vaatimuksista, voidaan vahvistus suunnitella voimia kokonaan vastaanottavaksi. Rakenneosat voidaan myös vahvistaa siten, että uusi ja vanha rakenne jakavat jännityksen. Tällöin on otettava huomioon vanhojen ja uusien rakenneosien muodonmuutokset ja näiden suhteet kuormien jakautumisessa.

Betonirakenteille tyypillisiä vahvistustyyppisiä on poikkileikkauksen lisääminen valamalla tai ruiskubetonoimalla, pilarirakenteissa tällöin puhutaan mantteloinnista. Palkkirakenteita voidaan vahvistaa lisäämällä vetoraudoitusta harjateräksellä tai muotolevyillä. Tilallisesti tehokkaampia vaihtoehtoja ovat injektointi, hiilikuituvahvikkeiden sekä muotolevyjen lisääminen vahvistettaviin kohtiin. Kokonaisia teräsprofiiileja voidaan myös käyttää vahvikkeina, mutta nämä vaativat tilaa, sillä profiili voidaan kiinnittää esimerkiksi betonirakenteen kylkiin tai ylä-/ alapuolelle. Muovibetonipaikkaus ja hiilikuituvahvistaminen ovat myös tehokkaita tapoja vahvistaa rakennetta. Laasti- ja betonipaikkausta käytetään pienempinä korjausvaihtoehtoina. Muuratut rakenteet ovat rakenne mekaniikaltaan haastavimpia niiden staattisten epämääräisyyden takia. Kuitenkin näitä voidaan vahvistaa esijännittämällä tai toisilla rakenneosilla esimerkiksi ruiskubetonoimalla tai teräsprofiileilla. (RIL 174-4, 1988, s. 30–142)

Puurakenteisia kantavia rakenteita voidaan vahvistaa eri teräsosilla, esimerkiksi vetotangoilla, tai lisäämällä uusia kantavia rakenneosia vanhojen heikkojen rakenteiden viereen, esimerkiksi liimaamalla teräslevyjä rakenteen kylkeen kiinni. Voidaan myös korvata vaurioitunut osa ja jatkamalla sitä, tämän jatkoksen liitos on kuitenkin suunniteltava voimia siirtäväksi. Halkeamia voidaan myös injektoida, mutta tämä saattaa lisätä puurakenteiden omaa taipumusta halkeilulle. Yleisesti rakennusmateriaaleissa viruma ja kutistuminen saattaa aiheuttaa mekaanisia ongelmia rakenteessa, johtuen liialliseen taipumaan ja rakenteen jäykkyyden sekä kestävyuden alenemiseen. Ajan myötä esimerkiksi betonirakenteissa viruman takia rakenteen taipuma voi kasvaa jopa 2–3-kertaiseksi muutamassa vuosikymmenessä välittömään muodonmuutokseen verrattuna. Tämä on otettava huomioon analysoitaessa vanhoja rakenteita sekä suunniteltaessa rakenteiden vahvistuksia. (Corradi, ym, 2019)

Teräsrakenteita voidaan vahvistaa mahdollisuuksien mukaan valamalla betonia teräsprofiilin sisään tai ympärille. Voidaan myös lisätä uusia teräsosia vanhaan kiinni, tässä kuitenkin voi tulla osatekijäksi vanhan teräksen hitsattavuus, mikä on tarpeen tullen selvitettävä. Käytetyt vanhat teräksiset rakennusmateriaalit eivät ole yleensä hitsattavia. Hitsattaessa, teräksen raemuoto voi muuttua hauraaksi. Vanhoja teräsrakenteita vahvistaessa mahdollisuuksien mukaan hyvä vaihtoehto on käyttää pulttiliitoksia, jolloin terästen hitsattavuutta ei tarvitse murehtia. Rakenneosia voidaan myös vahvistaa lyhentämällä taipuma- ja nurjahduspituutta. Tämä voidaan toteuttaa lisäämällä tukia rakenneosan nurjahtavalle matkalle. Toisissa kohteissa, joissa rakenteet eivät ole määrätty, on syytä pitää mielessä myös yksittäinen rakenneosan kokonainen vaihtaminen. Myös rakenteiden jännittäminen voi olla mahdollista, riippuen eri kohteista. (Kolehmainen, 2018, s. 13–14; RIL 174-4, 1988 s. 30–142)

Kuva 5. Esimerkki betonirakenteiden vahvistamisesta. Kuvassa perustuksia vahvistetaan paaluilla sekä lisävaluilla. Lisäksi pilaria vahvistetaan kiinnitettävillä teräslevyillä. Kohde sijaitsee Leiriassa, Portugalissa (D. João III Prestige Residence).



On myös harvinaisia tapauksia, jolloin ei ole mahdollista analysoida täysin rakennetta laskelmien pohjalta. Syitä voi muun muassa olla, ettei rakenneosien ominaisuuksia voida luotettavasti todistaa tai lujuuslaskenta muodostuu erityisen monimutkaisiksi, eikä kyetä luotettavasti ratkaisemaan näitä. Syynä voi myös olla, ettei rakenneosien rasitusten jakaantumista tai yhteistoimintaa voida varmistaa. Tällöin saatetaan joutua koekuormittamaan rakennetta, varsinkin toistuvissa rakenteissa. Siinä on huolehdittava laadukkaasta suunnittelusta, sisältäen kuormitettavat rakenteet, laskelmat, järjestelyt sekä mittaukset ja tulokset. Koekuormitukset onnistuvat pääosin vain taivutetuille rakenteille. Siinä on rajoitettava rakenteen ylijännitys ja taipuma, jotta rakenne ei pääse vaurioitumaan. Koekuormitusta voidaan suorittaa myös rakenteelliseen murtoon asti, jolloin saadaan selville sen murtokestävyys. Koekuormituksen suorittaa hyväksytty tutkimuslaitos. (RIL 174-4, 1988, s. 40) Kuvasta 6 voidaan nähdä havainnollistava esimerkki rakenteiden koekuormituksesta. Testilaitteiston yläpuolisen rakenteen päälle asennetaan reaktiopainoja. Alapuolella on muodonmuutosta mittaavia laitteistoja.

Kuva 6. Esimerkki rakenteiden koekuormituksesta. (Tumialan ym, 2014)



Eriyisen tärkeää on huomioida rakenteiden jatkuvuus uusittaessa, vahvistettaessa sekä korjattaessa kantavia rakenteita. Tällä tarkoitetaan kuormien siirtymistä yläpuolisilta rakenteilta perustuksille. Samalla suunniteltaessa ja vertailtaessa vahvistustoimenpiteitä, on hyvä ottaa huomioon rakennuksen tuleva käyttötarkoitus, joka esiintyy myös rakenteiden toiminnan ja kapasiteetin oikean käyttöasteen mitoittamisena, mutta myös oikeanlaisten rakennustekniikan ja -materiaalien käyttönä.

## **6.1 Analyysi ja mitoitus**

Kohteen tarkastelu tulee tehdä paikan päällä, ja monesti on myös hyödynnettävä laskentaa apuna. Rakenteiden analysoinnissa voidaan hyödyntää myös ohjelmistopohjaisia analyysityökaluja. Suunnittelijan on kuitenkin ymmärrettävä sovelluksen sisällä tapahtuvaa analyysiä, sekä huomioitava sovelluksen käyttämät määräykset ja ohjeavot. Analysoitaessa rakenteita nykymääräysten pohjalta, voivat rakenteiden kapasiteetit ylittyä, vaikka rakennus muuten olisi kunnossa. Tässä vaiheessa on tärkeää olla perillä koko rakennekompleksin toimintatavasta, missä se on heikoimmillaan ja miten heikointa kohtaa voidaan vahvistaa. Samalla pelkästään yhden rakenteen analysointi ei riitä, vaan on tehtävä laajempi selvitys ympäröivistä rakenteista. Tämän vuoksi kohdetta analysoitaessa on tärkeää tiedostaa rakennuksen rakentamisajankohdan normit ja tavat, joilla suunnittelua sekä rakentamista on tehty, jotta voidaan itse hankkeessa varautua mahdollisiin ongelmiin ja virheisiin, joita on tullut aikoinaan, ja joita tulee nykyään tehtyä.

Rakenteiden jatkuvuus on otettava huomioon koko korjaushankkeen ajan. Jo tuentojen ja purkamisen kohdalla on suunnittelijan tärkeää huomioida, että kaikki kuormitukset ovat tuettuina, eikä vaaratilanteita pääse syntymään. Samalla on varmistettava, että lopullisten rakenteiden liitokset siirtävät kuormituksia tehokkaasti oikealla tavalla ja hallitusti, haluttuun suuntaan. Tämä vaatii tarkkaa analysointia horisontaalisten, vertikaalisten sekä diagonaalisten eri osista rakennuksessa, kuten jäykisteistä, siteistä ja vetotangoista.

Analysoitaessa ja mitoittaessa vahvistettavia rakenteita, on huomioitava nykyisten pienten osavarmuuskertoimien käytettävyyys vanhoissa rakenneosissa. Nykyään rakenteiden mitoittaminen on tarkkaa, minkä vuoksi vanhojen rakenteiden mitoittamisessa näitä

kertoimia ei voida käyttää, kuin vain poikkeustapauksissa. Vanhojen rakenteiden tarkistuslaskemien tulisi olla yksinkertaisia, sekä laskelmat, että rakenteiden toimintaperiaatteet suunnittelijan selkeästi ymmärrettävissä. Laskelmat voidaan suorittaa pääsääntöisesti alkuperäisillä suunnitteluperiaatteilla. Kuitenkin laskettaessa epätarkemmilla menetelmillä rakenteita, joiden varmuudesta ei ole täyttä tietoa, on taivutetun rakenteen kokonaisvarmuuden oltava kaksi. Puristetulla rakenteella varmuus tulee olla kolme, sillä tämä voi menettää stabiiliutensa. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Tarkasteltaessa olemassa olevaa kantavaa rakennetta, voidaan käyttää rakentamisen ajankohdan aikaisia suunnittelunormeja ja kuormituksia, edellyttäen, että rakenteessa ei ole vaurioita tai rakenne ei muuten toimi kuormitusten ja rakenteen vaatimalla tavalla. Samalla aikaisempia määräyksiä ja säädöksiä voidaan käyttää, jos rakenteille olevat kuormitukset eivät lisääny tai tehtävät työt eivät kohdistu suoraan kantaviin rakenteisiin. Esimerkiksi kerroskorottamisessa kuormitukset saatetaan ohjata olemassa oleville rakenteille, jolloin vanhojen rakenteiden kapasiteetti ei todennäköisesti tule riittämään. Tällöin mitoitus rakenteille toteutetaan nykyisiä rakennusmääräyksiä noudattaen. (RIL 174-4, 1988, s. 46; Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014)

Korjauskohteissa näiden rakenneosien vahvistaminen ei silti aina ole yksiselitteistä, sillä rakentamisajankohdan ja nykyään käytettävien määräysten laskennallinen tulos voi heitellä keskenään, riippuen eri asioista. Esimerkiksi määräysten päivittyessä, rakennusmateriaalien vanhojen määräysten mukaiset taulukkoarvot aineen ominaislujuuksille ovat muuttuneet. Voidaan kuitenkin käyttää rakentamisajankohdan mukaista, materiaalille sallittua jännityksen arvoa, jolloin materiaalista ei tarvitse tehdä erillistä lujuusselvitystä. Tanskalaisen tutkimuksen mukaan vanhat puurakenteet kestävät enemmän jännitystä kuin vanhemmissa suunnittelumääräyksissä on puurakenteelle asetettu. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022) Vahvistusosan mitoitus voidaan toteuttaa eri tavoin. Käytettäessä samaa alkuperäisen kaltaista, mutta lujuusominaisuuksiltaan vahvempaa materiaalia, voidaan mitoitus toteuttaa yksinkertaisesti alkuperäisen materiaalin mukaisilla arvoilla. Tällä saadaan luotua varmuutta ja helposti ymmärrettäviä laskelmia. Toinen tapa on toteuttaa mitoitus materiaalin omilla lujuusarvoilla. Molemmissa tapauksissa rakenteiden

välinen adheesio ja voimien siirtyminen sekä rakenteiden yhteistoiminta on otettava huomioon. (RIL 174-4, 1988, s.40; Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Rakenteiden poikkileikkausta lisätessä, on tärkeää huomioida vanhan poikkileikkauksen vastaanottamat todelliset kuormitukset ja uuden vahvikeosan vastaanottamat kuormitukset. Esimerkiksi mantteloidun pilarin puristuskapasiteettina käytetään vain 60 % laskennallisesta kapasiteetista, vaikka vahvistetun pilarin puristuskapasiteetti on lähes sama kuin monoliittisen. (Korkala ym, 1994, s. 139) Rakenteen vahvuuden kasvaessa ja samalla rakenteen massan lisääntyessä, voi kuitenkin rakennuksen onnettomuus- ja maanjäristyskuormien vaatimukset kasvaa. (Advanced FRP Systems, 2022) Samalla rakenteita vahvistettaessa on huomioitava, että rakenteiden murtumistapa ei muutu sitkeästä hauraaksi. Yleisesti betonin omapaino on itsessään jo suhteellisen korkea, jolloin kapasiteetin vähäiset ylitykset voidaan sallia, koska betoni on todennäköisesti altistunut suuremmille kuormille jo rakentamisen aikana. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022; RIL 174-4, 1988, s. 102)

Rakenteen jännittämistä voidaan käyttää siirtämään kuormituksia paremmille tuille tai pelkästään palkkien kapasiteetin kasvamiseen; riippuen rakenteiden toimivuudesta, muodonmuutoksista sekä liitoksista ja tuennoista. Tärkeää on ottaa huomioon, ettei rakennetta ylijännitetä puristussuunnassa. Tämä voi tulla hyödylliseksi myös tilanteessa, jossa yläpuolelle tehtävä lisävalu lisää haitallista taipumaa rakenteessa, jolloin rakenne voidaan esijännittää valutöiden ajaksi. (Korkala ym, 1994, s. 141)

### **6.1.1 Liittorakennetoiminta**

Korjausvaihtoehtoja ja vahvistustoimenpiteitä suunniteltaessa kantaville rakenteille, on otettava huomioon uuden ja vanhan rakenteen välinen yhteistoiminta ja kuormien jakautuminen näiden kahden välillä. Kuormitukset jakaantuvat vahvistetulle rakenteelle vasta muodonmuutosten yhteydessä, esimerkiksi kokoonpuristuman tai taipuman suhteessa. Tällöin uusi vahvistettu rakenneosa ei välttämättä ota vastaan kuormituksia tehokkaasti. Tällä voi olla iso vaikutus vahvistuksen toimivuuteen, jotta rakenne pystyy toimimaan suunnitellulla

tavalla, yhtenä rakenteena. Esimerkiksi liitettäessä teräsvahvikkeita betonisiin rakenteisiin, on tärkeää huomioida osien välinen kiinnittyminen tehokkaalla tavalla. Tai tehtäessä betonimantteliä, olisi tärkeää saada vanhan ja uuden betonin välinen adheesio mahdollisimman tehokkaaksi, jotta rakenne saadaan toimimaan suunnitelmien mukaisesti. Mahdollisuuksien mukaan olisi hyvä käyttää samaa materiaalia, mutta tämä ei ole aina mahdollista ja järkevää. Yleisesti vanhan rakenteen vahvistaminen ja vahvistetun rakenteen sisäiset voimat voidaan selvittää ja mitoittaa liittorakennetoiminnan periaatteella. Kuitenkin tärkeää on tehdä selkeitä ja yksinkertaisia laskelmia, jonka muuttujat suunnittelija itse ymmärtää. Opinnäytetyön esimerkkikohteen avulla havainnollistetaan yksinkertaista vahvistamistapaa käyttäen yhdistettyä jännitystä. (RIL 174-4, 1988, s. 80)

Vanhojen rakenteiden suunnittelussa sisäiset pakkovoimat rakenteessa sekä eri rakenteiden välillä on saatettu jättää vallan huomioimatta. Kahden rakenteen rajapinnan leikkausjännitys voi muodostua salakavalasti rakenteen sisässä. Esimerkiksi lämpötilasta ja kosteudesta aiheutuvat materiaali muutokset luovat sisäisiä jännitteitä. Näiden eri materiaalien väliset muodonmuutoksista johtuvat erot ylipäättänsä rakennesuunnittelussa on tärkeää huomioida. Näihin vaikuttaa eri vahvistustyyppien ja materiaalien lisäksi ympäristöolosuhteet. Esimerkiksi puurakenteisen kohteen aukkopalkin vahvistaminen teräsosilla altistuu todella nopeasti leikkaaville voimille kahden materiaalin rajapinnassa. Myös esimerkiksi vahvistaessa betonirakenteita poikkileikkausta lisäämällä, on tärkeää ottaa huomioon uuden betonin kutistuma ja hiipuma. Mitoittamalla rakenteet liittorakenteena, huomioimalla esimerkiksi betonin laatu ja valujen eri iät, jolloin saadaan sen todellinen käyttäytyminen kuormituksen alla. (Korkala ym, 1994, s. 138–139; RIL 174-4, 1988, s. 80–81)

### **6.1.2 Palomitoitus ja ääniympäristö**

Rakenteiden palomitoituksessa käytetään materiaaleille omia osavarmuuskertoimia ja pienennyskertoimia palotilanteessa, joiden avulla huomioidaan rakenteen materiaalin muodonmuutos ja lujuusominaisuuksia. Näiden avulla voidaan laskea rakenteen kestävyys palotilanteessa. Analyysissä voidaan myös hyödyntää palokokeita ja toiminnallista mitoittamista. Rakenteesta riippuen, on mahdollista hyödyntää myös taulukkomitoitusta.

Rakennuksen tulee sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla täyttää rakenteiden lujuuden ja vakauden, paloturvallisuuden, hygienian, terveyden ja ympäristön, käyttöturvallisuuden, meluntorjunnan sekä energiatalouden ja lämmöneristyksen perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset).

Korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä rakennuksen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eivätkä heidän terveydelliset olonsa heikentyä. (Gyproc käsikirja, 2018, s. 433)

Korjauskohteissa palovaatimukset on huomioitava sillä tasolla, ettei rakennuksen turvallisuus ja terveellisyys vaarannu. Nykyisiä asetuksia sovelletaan korjausrakentamisessa, jos rakennus tai sen osa muuttuu korjaus- ja muutostyön seurauksena. Näitä ominaisuuksia ei saa heikentää korjaus- ja muutostöissä, ja ne on toteutettava siten, ettei kiinteistössä toimiville henkilöille koidu ääniympäristöstä haittaa. Rakennusten palomitoitus ja ääniympäristö ovat itsessään laajoja aiheita, ja näistä on tehty muutamia laadukkaita opinnäytetöitä, minkä vuoksi aiheisiin ja näiden mitoitukseen ei opinnäytetyössä syvennyttä. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017; Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017)

## **7 Kantavien rakenteiden muutostöiden toteuttaminen**

Tilapäistuentoihin siirtyminen vaatii tarkkaa analysointia rakenteesta, sillä vanhat painuneet rakenteet saattavat poiketa aikoinaan suunnitelluista kuormituslinjoista, eivätkä laskennalliset kapasiteetit pidä paikkaansa suunnitelmista poikkeavien sijaintien ja kuormitusten osalta. Haastavaa on ottaa huomioon todelliset työn aikaiset kuormitukset ja onnettomuuskuormat, minkä takia tilapäistuentojen mitoitukselle on hyvä jättää varmuutta. Ennen kuormien siirtämistä on järkevää, jos mahdollista, poistaa kaikki ylimääräinen kuormitus rakenteelta. Tukirakenteet lasketaan nykyisten voimassa olevien standardien mukaisesti.

Väliaikaisten tuentojen tehtävänä on rakennuksen stabiiliuden ja kantavuuden ylläpitämisen lisäksi autettava rakennetta säilymään omassa muodossaan, ilman haitallisia siirtymiä ja painaumuksia muille olemassa oleville rakenteille. Tuennoissa on huolehdittava, varsinkin monikerroksisissa kohteissa, että kuormat eivät aiheuta ala- ja yläpuolisille tai muille rakenteille haitallisia jännityksiä. Kohteen sijainti ja sen ympäristö- ja kosteusvaatimukset on huomioitava tuentojen valinnassa ja mitoituksessa. Esimerkiksi kohde voi sijaita maanjäristysalueella tai ympäristö on erityisen kostea ja suolapitoinen, altistaen rapautumiselle ja korroosiolle, jolloin tämäkin on huomioitava mitoittaessa tuentoja kohteelle. Mahdollisuuksien mukaan voidaan pyrkiä myös käyttämään lopullisia rakenteita, ottaen kuitenkin huomioon purkukuormat. Tuettaessa rakennusta, on oltava tietoinen, mikä rakenneosaa vaatii tuentoja, ja mitkä rakenteet eivät. Budjettia ei voida tässä jättää huomioimatta. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Tuennassa käytettävät materiaalit on valittava ajankohdan, paikan, asennettavuuden, tarvittavan tuenta-ajan ja kuormituksen mukaan, oikeilla perusteilla. Esimerkiksi jos vaadittavia tuentoja tarvitaan pitkään sekä tuentojen tarvitsee olla järeät, väliaikaseksi tuennoiksi voi soveltua teräsbetoniset rakenteet. Kuitenkin näiden valmistelu- ja purkutöiden vaativat paljon aikaa muotti- ja purkutöiden sekä betonin lujuuden kehityksen takia. Puurakenteiset tuennat ovat käteviä helpon purettavuutensa ansiosta, mutta terästen materiaalipituus ja kestävyys on huomattava etu verrattuna puisiin tukiin. Kuitenkin puu soveltuu pieniin ja kriittisiin tuentoihin, joihin teräksisiä materiaaleja ei välttämättä saada toimitettua tarpeeksi nopeasti.

Kuormien siirtämisessä on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota rakenteissa tapahtuviin muutoksiin. Kuormia poistettaessa vanhoilta rakenteilta, muut ympäröivät rakenteet saattavat käyttäytyä kimmoisesti aiheuttaen mahdollisesti haitallisia jännityksiä muille rakenteille. Kuormituksia siirrettäessä tuennoilta toisille, on kuormien siirto tapahduttava hitaasti, asteittain. Samalla väliaikainen tai lopullinen tukirakenne tulisi esijännittää/kuormittaa, jotta rakenteelle vaikuttavat kuormat eivät vaurioita sitä. Toimivia ratkaisuja kuormien siirtoon ovat tunkkaaminen ja kiilaus sekä erilaisten ruuvien ja pulttien käyttö, tukirakennetta voidaan myös heikentää. Tärkeää on myös huolehtia, ettei synny mahdollisia tilanteita, jossa kuormittaessa uutta, lopullista rakennetta, rakenne sortuu, aiheuttaen

syssäysvoimia väliaikaisille rakenteille, ja sorruttaen molemmat rakenteet samaan aikaan. (RIL 174-4, 1988, ss. 76–77, 70)

## 7.1 Purkaminen

Kantavista rakenteista on hieman haastavampaa saada otettua koepaloja ja tehtyä rakenneavausta ilman erillistä tuentaa. Erityisellä harkinnalla sekä ottamalla aikaisemmin käsitellyt asiat huomioon, voidaan kantaviakin rakenteita avata osittain. Mahdolliset syntyvät tutkimusaukot ja -reiät on huomioitava rakenteiden kantavuuden kannalta. Pilarirakenteiden tapauksessa on aina syytä tukeutua väliaikaisiin tai lopullisiin tukiin. Erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota, ettei rakenne ylikuormitu purkutöiden ja muun rakennustyön aikana. Tätä ennen pitää varmistaa rakenteen kapasiteetti. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022)

Kantavien rakenteiden purkamisessa on noudatettava tiettyä järjestystä, jotta ympäröivät rakenteet eivät lähde sortumaan hallitsemattomasti. Rakennuksen jäykisteet ja siteet on paikannettava, jotta näitä ei pureta liian aikaisin, tai vaurioiteta käsiteltäessä muita ympäröiviä rakenteita. Rajoittuvien rakenteiden sekä jäävien yläpuolisten rakenteiden tukemisessa on käytettävä korvaavia toimenpiteitä. Joskus tämä on mahdollista hoitaa oikealla purkujärjestyksellä. Samat asiat tulevat vastaan, vaikka purettaisiin rakennus kokonaisuudessaan. (RIL 174-4, 1988, s. 30–45)

Rakenteiden purkusuunnittelussa on yllä mainitut asiat otettava yksityiskohtaisesti huomioon, ja mitkä on käsiteltävä purkusuunnitelmassa. Suunnitelmaan on myös tärkeä sisällyttää seuraavat asiat: Täytyy selvittää ja rajoittaa, että purettavat osat eivät vaikuta rakennuksen stabiliteettiin ja kantavuuteen negatiivisesti, eikä primäärirakenteet vaarannu. Lisäksi on selvitettävä purkamisessa välittyvien kuormien suhde rakenteiden kantavuuteen, sillä purettavat rakenteet ylittävät helposti rakenteiden kantavuuden, jolloin ne on tuettava. Samalla suunnitelmaan on selvitettävä rakenteiden sallitut ja kielletyt purkumenetelmät, purkamisen oikea suoritusjärjestys sekä rakenteiden painaumien ja värinän seurantamenetelmät tarkkailua varten. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY

Luentodiat] 2.12.2022) Kuvassa 7 lueteltuna purkuhankkeissa käytettyjä purkusuunnitelmia ja dokumentteja, sekä niiden laatija työjärjestyksessä.

Kuva 7. Havainnollistava listaus purkuhankkeissa käytetyistä purkusuunnitelmista. (Ratu S-1221, 2009, s. 4)

Hankkeen vaihe	Hankesuunnittelu	Rakennesuunnittelu	Työvaihesuunnittelu		Viikkosuunnittelu
Suunnitelma	Purkuohjelma Turvallisuusasiakirja	Purkutyöselostus - rakenteiden purkutapaselostus - purkupiirrustukset	Purku-suunnitelma - purkutoimenpiteet ja sopimus - purkutyösuunnitelmien tarveselvitys Työmaan aluesuunnitelma Yleisaikataulu	Purkutyö-suunnitelma - rakenteiden purkutapasuunnitelma - hyväksytetään rakennesuunnittelijalla Tehtäväsuunnitelma	Purkutyöt → Viikkoaikataulut
Suunnitelman laatija	Rakennuttaja	Rakennesuunnittelija lisäksi LVIS-suunnittelija	Päätoteuttaja	Purku-urakoitsija rakennesuunnittelija tarkastaa	Purku-urakoitsija, päätoteuttaja

## 8 Esimerkkikohde

Opinnäytetyön esimerkkikohteena toimii vanha piharakennus Satakunnassa, Pomarkussa. Halli on rakennettu 1983, ja sitä on jälkikäteen laajennettu vuonna 2002. Rakennushanke suunniteltiin ja toteutettiin tontin omistajan puolesta. Rakennuksen rakennussuunnitelmat on aikoinaan laadittu rakennuttajan toimesta ja hyväksytetty paikallisella rakennustarkastajalla. Kohteen laajennuksesta on käsin tehdyt suunnitelmat tallella vuodelta 2001, kuitenkin alkuperäisiä suunnitelmia ei kohteesta löytynyt. Olemassa olevat suunnitelmat ovat toteutustapansa takia epätarkat, eikä näiden pohjalta saada lisätietoa rakennuksen muodon lisäksi.

Kuva 8. Esimerkkikohde



Kohde on maavaraisella laatalla valettu puurunkoinen rakennus. Rakennuksen laajennus ja toisen päädyn tilat ovat puolilämpimät, muuten rakennus on kylmä. Kohteen kattoristikot ovat vanhassa osassa itsevalmisteiset. Laajennuksen kattoristikot on tilattu aikoinaan

lähialueen puuelementtirakenteisiin erikoistuneelta insinööritoimistolta, Hietakulma Oy:ltä, jonka ristikkolaskelmat ovat vielä tallella. Rakennus toimii kylmältä osaltaan autotallina, varastona ja kalustovajana. Rakennuksen laajennuksessa, vanhassa hevostallissa on tällä hetkellä kuntosali, ja rakennuksen toisessa puolilämpimässä päädyssä sijaitsee verstaas, korjaamo- ja huoltotilat sekä hakelaitos. Liitteessä 2 valikoitu kuvasarja rakennuksen tarkasteluista ja havainnoista, sekä olemassa olevat rakennuspiirustukset (julkisivupiirustukset ja pohjakuva), ei sisällä laajennuksen kattoristikoiden mitoitus- ja asemakaavaa.

### **Rakennuksen mittatiedot:**

Rakennuksen mitat:      Leveys = 32 m  
                                     Syvyys = 10 m  
                                     Korkeus harjalta = 5 m  
                                     Korkeus räystäältä = 3 m

Kattotuolien mitat:       $H_{\max} = 2,2$  m  
                                     Jänneväli = 10 m  
                                     jako = 0,96 m

Rakennuksessa on 4 aukkoa, joiden korkeus on 3 m ja leveys 3 m. Rakennus sijaitsee 40 metriä meren pinnan tasosta. Päätuulensuunnat ovat länsi- ja pohjoistuuli.

### **8.1 Suunnittelun lähtötiedot ja rakenteelliset vaatimukset**

Rakentamisajankohdan aikainen, rakennuttajan oma taloudellinen tilanne ja niukasti käytetyt rakentamiskustannukset näkyvät käytetyissä vanhoissa pilareissa ja palkkiratkaisuissa. Samalla ajankohdalle tavanomainen rakennustapa esiintyy kohteessa matalana kivijalkana. Lisäksi rakentamisajankohdalle oli tyypillistä jättää aluskate asentamatta. Aikoinaan yleisesti myös käytetyt puumateriaalit saattoivat olla itse kaadettuja puita, jotka on mitallistettu sahalla ja käytetty kantavissa rakenteissa. Lujuusleimausvaatimuksesta oli vielä mahdollista joustaa eurokoodien ja RakMK B10 ohjeiden rinnakkaiskäytön aikana. (RIL 205-1-2009, s. 47)

Taulukko 1. Esimerkkikohteessa käytettyjä kantavien rakenteiden materiaaleja.

Kattoristikon ylä- ja alapaarteet	98x125, itse sahattu puu
Kattoristikon diagonaalit	20x120, itse sahattu puu (kahdella puolella)
Pilarit	~ $\varnothing$ 20, -
Aukkorakenteiden ylä- ja alapaarre	128x128, itse sahattu puu
Aukkorakenteiden diagonaalit	22x125, itse sahattu puu
Sidokset, jäykisteet	48x48, itse sahattu puu

Rakennuksen tiilikate vuotaa vuosien mittaan syntyneestä rapautumisesta ja tiilen kulumisesta. Tästä huolimatta kattoristikot vaikuttavat silmämääräisesti arvioituna hyvinvoivilta, kosteuden aiheuttamia alueita sekä haitallisia oksakohtia ja huolestuttavia halkeamia ei juurikaan näy. Kuitenkin kohteen itse valmisteisissa kattoristikoissa on rakenteellisen mekaniikan käyttäytymisen kannalta ongelmia. Kuten kuvasta 9 voidaan huomata, että ristikon kolmioiden solmukohdat eivät kohtaa rakenteen poikkileikkauksen sisällä. Tämä aiheuttaa jokaisessa solmukohdassa epäkeskisyyttä ja haitallista momenttia rakenteen sisällä. Lisäksi kattoristikoissa on käytetty itse sahattuja puutuotteita, jolloin näiden rakenteiden tarkkaa kestävyyttä ei ole tiedostettavissa olemassa olevien lujuustaulukoiden mukaan. Visuaalisen analysoinnin lisäksi suoritetaan epäviralliset, karkeat testikuormitukset hydrauliprässillä samankaltaisesta vanhasta, itsesahatusta puusta. Saatuja tuloksia verrataan rakennusaikaisten normien mukaisiin arvoihin.

Kuva 9. Esimerkkikohteen kattoristikot



Kondenssiongelmia on syntynyt puuttuneen aluskatteen takia. Isoin ongelma esiintyy puolilämpimän tilan yläpohjan eristeiden alttiudesta kosteudelle. Märkänä nämä heikentävät alapuolisen tilan sisäilman laatua sekä lisäävät ylimääräistä, ripustuskuormiin verrattavaa kuormitusta ristikon alapaarteisiin. Eristeet on ensi tilassa imuroitava pois. Myös alapaarteiden päälle varastoiduista tavaroista muodostuu kevyttä, mutta merkityksetöntä kuormitusta. Rakennuksen rakennefysikaalisia ominaisuuksia, kuten äänieristysominaisuuksia, kosteuden muodostumista sekä lämmöneristävyttä ja tiiveyttä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Kuva 10. Esimerkkikohteen puolilämpimän tilan yläpohja.



Rakennuksen aukkopalkkirakenteiden halvat rakenneratkaisut näkyvät muun muassa sillä, ettei aukkopalkkeina ole hyödynnetty liimapuupalkkeja tai muuta vastaavanlaista ratkaisua. Samoin rakennuksen vanhat kantavat pääpilarit ovat rakennuksen omistajan mukaan kolmannessa osoitteessaan, sillä ne on purettu aikaisemmin vanhoista kohteista. Halvempi rakentamistapa on ollut omiaan vähentämään näiden rakenne-elementtien kestävyyttä ja kantavuutta laadullisten piirteiden lisäksi. Aukkorakenteissa kosteusvaurioita ei esiinny, mutta taipumaa sekä halkeamista voidaan silmämääräisesti havaita palkkirakenteen alapaarteen pitkittäissuunnassa, lähellä tukea (ks. kuva 11). Yhtä aukkopalkkia on myös aikoinaan jouduttu tunkkaamaan takaisin tuelle, estämään sitä romahtamasta. Myös aukkorakenteiden palkkiratkaisun alapaarteen tukipinta on kyseenalainen, vaikka merkittäviä painaumuksia siinä ei ole havaittavissa. Rakennuksen takaseinässä on käytetty samanlaisia tolppia kuin aukoissa, mutta näiden lisäksi asennetut vinositeet jakavat takaseinän kannatinpalkin kolmeen osaan, jolloin kantavuus on varmalla puolella.

Kuva 11. Esimerkkikohteen aukkorakenteet.



Kohteen eri rakenneosissa ei linjalaserilla tarkastettaessa ollut havaittavissa liiallisia lenkouksia, painaumia, kallistumia, asennusvinouksia ja vääryyksiä. Samalla rakennuksen perustamistapa vaikuttaa silmämääräisesti olevan kunnossa, sillä merkittäviä painaumia sekä muodonmuutoksia ei rakennuksessa ja sen eri osissa ole havaittavissa. Suunnitelmista eroaviin sijaintipoikkeamiin ei puuttuvien suunnitelmien vuoksi voida puuttua, kuitenkin kannattimien välit ja keskeltä keskelle jaot ovat johdonmukaisia, eikä poikkeavaisuuksia näiden välillä esiinny.

Kohteen liitokset on aikoinaan toteutettu naulaliitoksina. Nämä ovat osin ruostuneet, mikä on voinut johtaa siihen, että naulojen kestävyys on heikentynyt ja niiden murtumistapa on muuttunut hauraaksi. Voi myös olla, että vain naulojen kannat ovat ruostuneet, jolloin nämä voidaan käsitellä tarpeen vaatiessa. Naulojen ruosteisuus tarkistetaan satunnaisotannalla poistamalla yksittäisiä nauloja ja tarkastamalla silmämääräisesti näiden kunto, ja suoritetaan

mahdolliset veto ja leikkaustestit. Tämän pohjalta valitaan toimenpiteet, jos naulat ovat vain kannastaan ruostuneet, käsitellään naulojen kannat. Jos naulat osoittautuvat ruosteen takia kestävyydeltään heikoiksi, suunnitellaan vahvistustoimenpiteet naulaliitokset huomioon ottaen. Naulaliitoksiin ja muihin liitoksiin ei opinnäytetyössä syvennytä. Muita merkittäviä korroosiovaurioita ei rakenteissa havaittu. Kattoristikoiden tuulisiteet ja jäykisteet on toteutettu osittain, kaikkia vinotuntojen, reivausten ja tuulisiteiden vastinkolmioita ei ole asennettu. Naulaliitoksissa reunaetäisyydet ovat riittävät.

Kuva 12. Esimerkkikohteen kattoristikoiden ja sidososien tila.



Rakennukseen kohdistuvat kuormitukset koostuvat kattorakenteiden omasta painosta, ripustuskuormista sekä lumi-, jää- ja tuulikuormista. Rakennuksen omistajan mukaan, itsetehtyjen kattoristikoiden mitoitus on aikoinaan tehty Porin teknillisen opiston menetelmillä. Tällöin lähtökohdaksi voidaan soveltaa rakentamisajankohdan suunnitelmia analyysissä. Kuitenkin katolle kertyvä lumikuorma aiheuttaa omistajalle toimenpiteitä, jonka vuoksi rakennuksen omistajan puolesta katolta pudotetaan lumia alas runsaslumisina talvina.

Lisäksi yläpohjan oma paino tulee kasvamaan 13 kg neliöltä uuden tiilikatteen myötä. Kattoristikoiden mahdollisessa vahvistamisessa yläpohjan oma paino neliölle ei lisäänty merkittävästi, mutta tämä huomioidaan laskelmissa. Samalla huomioon otetaan peruslumikuorman muuttunut mitoitusarvo rakentamisajankohdasta, minkä vuoksi lumikuormaa tarkastellaan nykyisten säädösten mukaan ( $2,5\text{kN/m}^2$ ). (Ympäristöministeriö, 2019) Kohteelle on suunnitteilla tiilikatteen vaihto sekä aluskatteen lisäys. Samalla ristikot halutaan tarkastella nykyisten kuormitusten mukaan ja selvittää ristikoiden mahdollinen tuenta, sekä aukkopalkkien mahdollinen vahvistus tai muutos. Toiselle puolelle rakennusta on suunnitteilla katon muodon muutosta sekä rakennuksessa sijaitsevan hakelaitoksen hakesäiliön täyttöä varten automaattista ovea. Tätä ei kuitenkaan käsitellä opinnäytetyössä, mutta huomioidaan mahdollisesti lisäävien kuormien osalta kattoristikoiden analyysissä ja mitoittamisessa.

Taulukko 2. Esimerkkikohteelle vaikuttavat kuormitukset.

Peruslumikuorma alueella	2,5 kN/m <sup>2</sup>
Yläpohjan puurakenteiden omapaino / ristikko	~ 81,14 kg
Uuden tiilikatteen paino	40 kg/m <sup>2</sup>
Perustuulen nopeus alueella	21 m/s
Puolilämpimän tilan purut	~ 3 kN/irto-m <sup>3</sup>
Ripustuskuormat	n.a.

Kohteessa etuna on rakennuksen kylmällä puolella sen näkyvät rakenteet, jolloin rakenteita ei tarvitse purkaa selvittääkseen olemassa olevien rakenteiden kuntoa sekä sijaintia. Kuitenkin rakennuksen puolilämpimissä tiloissa kantavat rakenteet ovat seinärakenteiden sisällä piilossa, jolloin nämä pitää hankkeen alkaessa tarkastaa. Opinnäytetyössä nämä käsitellään samassa kunnossa olevina, kuin muun rakennuksen rakenteet. Laajennuksen kattoristikoiden laskennassa on käytetty TrussCon -ohjelmistoa ja ovat vuodelta 2001. Laskelmissa on käytetty

nykyisten määräysten mukaista lumikuorma-arvoa. Tämän vuoksi laajennuksen rakenteita ei opinnäytetyössä tarkastella.

Rakennuksen historian aikana ei ole tapahtunut tulipaloja, räjähdyksiä, törmäyksiä, eikä muita onnettomuuksia. Ylikuormitustilanteita on voinut käydä liiallisen lumikuorman seurauksena, mutta tämän laita selviää vasta kohteen tarkemmassa silmämääräisessä ja laskennallisessa analyysissä. Kohteessa ei tiettävästi ole suoritettu korjauksia tai muutoksia kantaviin rakenteisiin. Näitä toimenpiteitä olisi esimerkiksi lisäripustukset ja -kuormitukset kantaviin rakenteisiin tai yli 6 mm tehtyjä reikiä, lovituksia tai aukkoja kantaviin rakenteisiin sekä kantavien rakenteiden siirtäminen tai poistaminen. (RIL 246-2008, s 37)

## 8.2 Toimenpiteiden vertailu

Kohteen rakenteellisia selvityksiä tehdessä oli jo melko selvää, mitä kohteessa tullaan tekemään ja mitä toimenpiteitä se vaatisi. Kuitenkin eri vaihtoehtoja hanketta varten syntyi. Yksi vaihtoehto sisältäisi kattoristikoiden sekä aukkojen palkki- ja pilarirakenteiden vaihtamisen uusiin vastaaviin rakenteisiin. Tällä voitaisiin yksinkertaistaa rakenteiden mitoitus nykyaikaisten normien mukaiseksi. Kattotuolien ongelmiksi muodostuisi harjan sekä lappeen yhteen sopiminen laajennuksen ja uusien kattoristikoiden välillä. Kattotuolien uusiminen olisi kallein sekä työläin vaihtoehto. Lisäksi sisäpuoliset rakenteet vaatisivat purku- ja muutostöitä, minkä vuoksi tätä vaihtoehtoa ei haluttu tarkastella toistaiseksi tarkemmin. Toisena vaihtoehtona kantavat rakenteet säilyisivät ennallaan, mutta uutena katemateriaalina käytettäisiin muotoiltua peltikatetta. Asemakaavamerkintä kuitenkin estää toisenlaisen katemateriaalin käytön.

Kolmas vaihtoehto on säilyttää kattoristikot entisellään, ja tarvittaessa vahvistaa näitä. Aukon palkki- ja pilarirakenteet purettaisiin ja korvattaisiin uusilla rakenteilla. Uuden tiilikatteen myötä mahdollinen lisäkuormitus ristikoille on tässä tapauksessa tarkasteltava. Aukkoihin oli alun perin ollut suunnitteilla yhdistää neljä aukkoa kahdeksi aukoksi, mutta kohteelle halutaan jättää varaus väliseinälle. Aukkojen yhdistäminen olisi myös voitu toteuttaa vain kahden aukon yhdistämisellä, mutta isoin haaste näin pitkillä jänneväleillä olisi saada liimapuupalkki mahtumaan olemassa olevien ristikoiden sekä pilarien väliin, jos oviaukkojen korkeus

halutaan säilyttää samana, sillä palkin jänneväli kasvaisi 6,5 metriin. Jos liimapuupalkki ei mahdu, voidaan myös harkita palkkimateriaaliksi terästä, jolla poikkileikkausta saataisiin pienennettyä. Toisena vaihtoehtona aukkojen määrä ja leveys säilytettäisiin samana, mutta päivittää pilarit ja palkit uusiin, nykymääräysten mukaisiin rakenneratkaisuihin. Vaihtoehtoisesti vanha aukkorakenne voidaan jättää paikalleen, ja rakentaa uudet kantavat aukkorakenteet vanhojen aukkorakenteiden taakse.

Neljäntenä vaihtoehtona kattoristikot säilytettäisiin samana ja aukkorakenteita vahvistettaisiin tarpeen mukaan teräksisillä osilla. Aukon palkkirakenteen vahvistaminen olisi haasteellinen vaihtoehto, sillä todellisia kuormituslinjoja on hankala löytää. Tämä siitä syystä, että rakenteen ristikkorakenne aiheuttaa poikittaisiin palkkeihin haitallista vääntöä sillä ne ovat asennettu vain toiselle puolelle suurin epäkeskisyyksin. Myös alemman parrun tukimitta on olematon, jolloin alaparrun päiden käyttäytyminen tukena on kyseenalainen. Teräksisten vahvikeosien käytössä tulee ottaa huomioon teräksen kondensaatio puurakenteita vasten.

### **8.2.1 Rakenneanalyysi**

Kattoristikoiden uusiminen vaihtoehtona haluttiin pois sulkea korkean kustannuksien takia. Kattoristikoiden ollessa silmämääräisesti tarkasteltuna ehjiä, voidaan hyödyntää rakentamisajankohdan normien mukaista suunnitteluarvoa puulle. Vertailtaessa rakentamismääräyksiä vuosilta 1978 ja 1983, jotka osuvat kohteen rakentamisen ajankohtaan, voidaan huomata puurakenteiden ominaislujuuksien kasvaneen. Myös vanhojen käytettyjen puumateriaalien ominaislujuudet ovat aikoinaan olleet pienempiä kuin mitä nämä ovat oikeasti olleet. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022) Tämä huomioon ottaen koepaloja ei rakenteesta oteta, mutta materiaalin lujuus varmistetaan epävirallisella paineilmaprässitestillä silmämääräisten tarkasteluiden lisäksi. Lisäksi eurokoodeissa puun kestävyuden mitoittamisessa esiintyy enemmän osavarmuuskertoimia, jotka pienentävät puun lujuutta laskennassa, ottaen huomioon puun käyttäytymistä eri tilanteissa. Tämän vuoksi valitaan puun ominaislujuusarvot T18 sahatavaran mukaan vuodelta 1978. Tällä saadaan luotua varmuutta rakenteelle. Yhtenä vaihtoehtona olisi myös hyödyntää yhtä ristikkorakennetta, koekuormittaa se ja tarvittaessa rakentaa uusi kattoristikko tämän tilalle.

Rakenneanalyysi suoritettiin T18 laadun mukaisilla puun ominaislujuuksilla. Alla olevassa taulukossa materiaaliominaisuuksia T18 sahatavaran arvoilla 1978 RakMK B10 mukaisesti. Taulukossa on myös samojen materiaalien ominaisuuslujuudet 1983 RakMK B10 ja nykyään käytetyn EN 338 -standardin mukaisesti. Tästä voidaan todentaa tanskalaisen tutkimuksen tuloksia, sillä puu itsessään ei ole muuttunut vuosien saatossa. Itse kaadetun puun lujuusarvot voidaan nykyään luokitella poikkileikkauksesta ja käytöstä riippuen enintään joko C18- tai C24 -luokkaan. Edellytyksenä kuitenkin on muun muassa, että puu vastaa laadultaan Suomessa kasvanutta puuta, eikä se ole vajaasärmäistä tai lahoa. (RIL 205-1-2017, s. 51)

Taulukko 3. C18-luokan puun ominaislujuuksia eri vuosien määräysten mukaan.

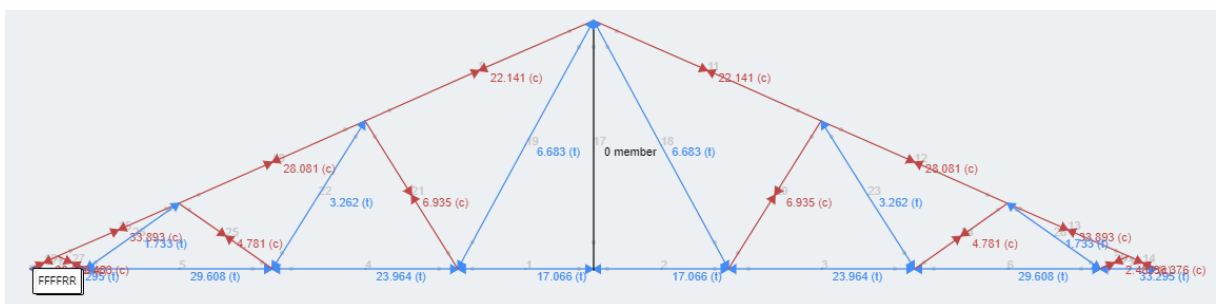
<b>Lujuus/ jäykkyys</b>	<b>T18 (1978) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>T18 (1983) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>C18 (EN 338) (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>f<sub>ck</sub></b>	13	15	18
<b>f<sub>ckL</sub></b>	5	5	2,2
<b>f<sub>tk</sub></b>	6	8	10
<b>f<sub>tkL</sub></b>	0,4	0,4	0,4
<b>f<sub>bk</sub></b>	13	16	18
<b>f<sub>vk</sub></b>	2	2	3,4
<b>f<sub>vkL</sub></b>	1	1	-
<b>E</b>	3300 (5000)	4000 (5500)	9000

Todellinen ristikko ei toimi täydellisesti ristikkona, sillä solmukohtat eivät kohta rakenteen sisällä, jolloin paarteisiin syntyy haitallista jännitystä. Myös ajan tuomat muutokset ja painaumat rakenteeseen ovat saattaneet luoda omia kuormituspolkuja tuille, alkuperäisestä suunnitellusta rakenteesta. Helpottaen ja yksinkertaistaen rakenneanalyysiä, tehdään rakenneanalyysi yksinkertaistamalla todellinen ristikkorakenne, siirtämällä muun muassa diagonaalien solmukohtat yhteen. Tämä kompensoidaan lisäämällä varmuutta laskentamenetelmiin, ja huomioimalla epäkeskisyys paarteissa. Kunnes kattoristikko on

silmämääräisesti todettu rakenteellisesti toimivaksi ja kuntotarkastus suoritettu, tarkastellaan rakenne laskennallisesti. Kattoristikon sisäiset voimat saadaan ratkaistua käyttämällä tietomallipohjaista laskentaohjelmistoa, kuten 'Robot Structural Analysis' tai 'RFEM'. Tämä malli muodostetaan yksinkertaistamalla ristikkorakenne ja mallintamalla sen solmukohtat ja osat. Tähän malliin lisätään suunnitellut eri kuormitusyhdistelmät, minkä jälkeen se analysoi ja laskee ristikon sisäiset voimat.

Analyysiä varten hyödynnetään eurokoodien mukaisia suunnittelukuormia, sillä nykyiset rakenteet esiintyvät varmuudeltaan riittämättömäksi lumi- ja omapainon osalta. Kattoristikoiden analysoinnissa hyödynnetään SkyCiv-pilvipohjaista laskentaohjelmaa. Tämän avulla saadaan ratkaistua kattoristikon sisäiset voimat, jonka jälkeen rakennemateriaalin kestävyudet voidaan ratkaista käsin laskennalla eurokoodien sekä vanhemman rakentamismääräyksen mukaan. Aukkorakenne halutaan uusia jo silmämääräisten havaintojen pohjalta, sekä tuntien käytettyjen materiaalien ja rakenteiden historian. Jo alustavissa laskelmissa käytetään eurokoodien mukaisia kuormitusarvoja. Alla olevasta kuvasta nähdään ristikon sisäiset normaalijännitykset. SkyCiv -ohjelmistolla voidaan eritellä myös 'method of joints' ja 'method of sections' -käsin laskentamenetelmät. Nämä voimat voidaan tämän jälkeen eritellä esimerkiksi Excel -taulukkoon.

Kuva 13. Esimerkkikohteen kattoristikosta muodostettu ja yksinkertaistettu rakennemalli, jossa myös ristikon sauvojen säiset voimat.



Taulukko 4. Supistettu yhteenveto kattoristikolle vaikuttavista merkittävimmistä voimista.

Rakenneosia	Taivutusmomentti [kNm]	Veto [kN]	Puristus [kN]
Alapaarre	2,42	33,72	-
Yläpaarre	2,42	-	36,19
Pisin diagonaali vedossa	-	6,94	-
Pisin diagonaali puristuksessa	-	-	6,68

Yllä esitetyt kattoristikon sisäiset voimat ovat yksinkertaistetun mallin vuoksi suuntaa antavia, ja pyöristetään ylöspäin kattamaan rakenteellista varmuutta. Lisäksi laskennallisessa analyysissä käytetään varmuuskerrointa 2 vedetyille- ja 3 puristetuille rakenneosille. Tällä luodaan varmuutta laskennalle. Referenssinä, uuden sahatavaran ja pyöreän puun varmuuskerroin on 1,3. (Lindberg Ralf, henkilökohtainen tiedonanto [TTY Luentodiat] 2.12.2022; Eurokoodi 5, 2014)

Kattotuolin paarteissa ja diagonaaleissa on tarkistettava syiden suuntaiset puristus- ja vetokestävyydet. Lisäksi kattotuolien tuella on syytä tarkastaa tukipainekestävyys, joka tarkastetaan puristuskestävyydellä syysuuntaa vastaan. Kaava 1, 1978 RakMK B10 mukaan, ottaa huomioon puristuksen tietyssä kulmassa materiaaliin nähden.

$$\sigma_{ca} \leq f_c - (f_c - f_{c\perp}) \sin \alpha \quad (1)$$

missä,  $\sigma_{ca}$  = laskentakuormien aiheuttama puristusjännitys kulmassa  $\alpha$  syysuuntaan nähden.

$f_c$  = taivutuskestävyys syysuuntaan

$f_{c\perp}$  = taivutuskestävyys syysuuntaa vastaan

$\alpha$  = puristus kulma syysuuntaan nähden

Puristusosissa on syytä tarkastaa nurjahduskestävyys, varsinkin hoikkien diagonaalien osalta. Nurjahdusjännitys ottaa huomioon rakenteen hoikkuuden ja pituuden. Kaava 2 osoittaa nurjahduskestävyyden 1978 RakMK B10 mukaisesti:

$$\frac{\sigma_c}{k_s * f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1,0 \quad (2)$$

missä,  $\sigma_c$  = puristusjännitys  
 $k_s$  = nurjahduskerroin (RakMK B10 taulukko 5.3)  
 $f_c$  = puristuskestävyys  
 $\sigma_b$  = taivutusjännitys  
 $f_b$  = taivutuskestävyys

Lisäksi ala- ja yläpaarteissa on tarkistettava epäkeskisyydestä johtuva taivutusjännitys. Huomioon pitää ottaa myös vedosta ja puristuksesta aiheutuvat samanaikaiset jännitykset taivutuksessa. Kaavat 3 ja 4 ottavat huomioon yhdistetyn taivutuksen ja normaalivoiman 1978 RakMK B10 mukaisesti. Kaava 3 huomioi vedon ja taivutuksen yhteisvaikutuksen. Kaava 4 ottaa huomioon taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen:

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1,0 \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1,0 \quad (4)$$

missä,  $\sigma_t$  = vetojännitys  
 $f_t$  = vetokestävyys syysuuntaisesti

Rakenteen taipuma kuormituksen alla saadaan tietomallipohjaisesta laskentaohjelmistosta. Taipuman arvoa verrataan määräysten mukaiseen sallittuun taipumaan. Täyden kuormituksen alla ristikossa laskentaohjelmiston mukaan esiintyvä taipuma pysyy reilusti alle tiukimmankin raja-arvon ( $L < 400$ ), missä L kuvaa ristikon jänneväliä (10 m).

Yllä kuvatuista kaavoista jokaisessa verrataan puun ominaislujuutta ja poikkileikkaukselle kuormituksesta syntynyttä jännitystä. Kyseisistä 1978 RakMK B10 kaavoista puuttuu osavarmuuskerroin, tällä kertoimella jaetaan puun ominaislujuusarvo kertoimella. Tämä huomioidaan laskelmissa. Verraten edellä kuvattuja kaavoja eurokoodien mukaisiin kaavoihin, kaavat itsessään eivät eroa eurokoodien mukaisista kaavoista, mutta tässä työssä kaavoihin lisätyt kertoimet ovat suurempia kuin eurokoodeissa. Kertoimet ottavat huomioon materiaalin osavarmuuden ( $\gamma_m$ ) ja kuormituksen keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimia ( $k_{mod}$ ). Vanhemmissa rakennusmääräyksissä nurjahduskerroin  $-k_s$  merkitsee samaa nurjahduskerrointa kuin eurokoodeissa esiintyvä  $k_{cy}$  ja  $k_{cz}$ . Näiden taulukkokertoimien arvot ovat nykyään varmemmalla puolella verrattuna 1978 rakennusmääräysten mukaisiin verrattuna.

Liitteestä 3 löytyy yksityiskohtaisemmat laskelmat ristikon sauvoihin kohdistuvista rasituksista ja niiden kestävyyksistä. Liitteeseen ei ole eriteltyä kuormitusyhdistelmiä eikä taivutusjännityksen muodostumista ristikon paarteille diagonaalien epäkeskisyyksistä. Lisäksi palomitoitusta ja liitoksia ei käsitellä laskelmissa. Liitteessä käsitellyn rakenneanalyysin tärkeimmät tulokset taulukossa 5. Kaavoissa on huomioituna varmuuskertoimet.

Taulukko 5. Tiivis yhteenveto kattoristikon rakenneanalyysistä.

\*Rakennesosan käyttöaste.

Rakennesosa	Normaali-jännitys (MPa)	Taivutus-jännitys (MPa)	Normaalivoima-kestävyys (MPa)	Taivutus-kestävyys (MPa)	Käyttöaste osan normaali-voimalle*	Yhdistetty taivutus- ja normaali-voima
Alapäärre (vedossa)	3,60	2,40 kN m	1,95	4,20	1,38	2,42
Yläpäärre (puristuksessa)	3,94	2,40 kN m	2,60	4,20	1,51	2,09
Diagonaali (vedossa)	0,83	-	1,95	-	0,32	-
Diagonaali (Puristuksessa)	0,85	-	2,60	-	0,60	-

Vanhat pilari ja palkkirakenteet poistetaan ja korvataan uusilla rakenneosilla. Uudet rakenneosat lasketaan voimassa olevien määräysten mukaisesti. Opinnäytetyö ei käsittele näiden mitoitus tarkemmin, eikä tämän vuoksi ole sisällytettynä tähän opinnäytetyöhön. Uusien aukkojen sekä pilarien mitoitus tapahtuu eurokoodien mukaisesti hyödyntäen Finnwoodin suunnitteluohjelmaa. Aukkorakenteiden liittyminen olemassa oleviin rakenteisiin tapahtuu yksinkertaisesti. Kattotuolit sidotaan jäykistetyllä L-kiinnikkeellä uusiin palkkeihin. Reunimmaisat pilarit voidaan sitoa vinositein viereisiin alkuperäisiin rakenteisiin. Pilarien juuriin upotetaan kahdesta neljään harjaterästankoa, jotka ovat valettu uusiin betonisokkeleihin, väliin asennetaan sokkelikaista.

### **8.2.2 Vahvistussuunnittelu ja mitoitus**

Toista vaihtoehtoa tarkasteltaessa kattoristikon osalta laskennallisilla menetelmillä, käytettäessä vuoden 1978 mukaisia puun lujuusarvoja ja eurokoodien mukaisia kuormitusarvoja, kattoristikon rakenneosia tarvitsisi vahvistaa. Kattoristikon vahvistamiselle on muutamia vaihtoehtoja. Voidaan lisätä teräsvaijeria, -tankoja tai lisätä puumateriaalia. Kattoristikoiden diagonaalit tuovat haasteita ristikon vahvistamisessa, sillä ne eivät mene paarteiden välissä. Ristikon sauvojen tarvittavat vahvistukset voidaan analysoida ja mitoittaa kahdella eri tavalla: Jos käytetään alkuperäistä vastaavaa materiaalia, jonka ominaislujuudet ovat suurempia kuin olemassa olevan sauvan, voidaan vahvistettu rakenne mitoittaa käyttämällä vanhan materiaalin mukaisia ominaislujuuksia. Tällä saadaan luotua varmuutta rakenteelle, sekä yksinkertaistettua rakenneosan vahvistamisen mitoitus. Kuitenkin uuden ja vanhan rakenteen rajapinnan leikkausjännitys tulee huomioida, että voimat jakaantuvat tehokkaasti. Toinen tapa on mitoittaa vahvistettu rakenne käyttämällä vahvikemateriaalin omia ominaislujuuksia. Tällä saadaan tarkempi mitoitus tulos, mutta laskenta voi rakenteesta riippuen olla haastavaa. Kattoristikon vahvistaminen voidaan toteuttaa mekaanisesti eri tavoin. Vahvistettu rakenne voidaan mitoittaa siten, että tämän eri materiaaliosat jakavat kuormitukset, jolloin rakenneosien muodonmuutokset, sisäiset pakkovoimat ja yhteistoiminta sekä kuormitusten välityssuhde on otettava huomioon. Vahvistusosa voidaan myös suunnitella kestäväksi koko rakenteen kuormat.

Jos alapaarteen alapuolelle lisätään materiaalia, on taivutusjännitys uuden ja vanhan rakenteen välillä tarkastettava, jotta voidaan varmistua näiden kahden materiaalin adheesiosta. On varmistettava, että lisätty vahvikeosa ottaa kuormituksia vastaan tehokkaasti. Tarvittaessa uuden ja vanhan materiaalien rajapintaa sekä voimien siirtymistä voidaan vahvistaa esimerkiksi tapituksella tai vaarnoilla. Lisäksi lisättäisiin uusia diagonaaleja yläpaarteelta vahvikeosalle vanhojen diagonaalien viereen, jolloin myös vanhat, vahvistusta vaativat diagonaalit saavat tarvitsemansa vahvistuksen. Tämä on kuitenkin omiaan lisäämään ristikon solmukohtien epäkeskisyyttä. Lisäksi puolilämpimän tilan kohdalla alapaarteen alapuolella ei ole tilaa lisätä uutta materiaalia.

Kuva 14. Esimerkki kattoristikon vahvistamisesta. (Corradi ym, 2019, s. 8)



Tähän yksi ratkaisu olisi hyödyntää vanhaa ristikkoo, ja rakentamalla sen kylkeen osittainen kattotuoli, joka tukeutuu ja seuraa olemassa olevan kattotuolin linjoja. Tällöin ristikolle saataisiin lisää tukipinta-alaa tuille, eikä alkuperäiselle ristikolle aiheutuisi toispuoleista vääntöä. Vanhan ristikon diagonaalien välit täytettäisiin uudella puumateriaalilla, ja joiden kylkeen asennettaisiin ala- ja yläpaarteen sekä diagonaalien mukaiset vahvikeosat. Tämä vahvistustyyli olisi erityisen varmallalla puolella. Lisäksi vahvistusmateriaalien välisiä voimia ei tarvitse mitoittaa, sillä uusi ristikko toimii täysin itsenäisenä. Kevyempi vaihtoehto on vahvistaa vain vedettävät osat teräksisillä vetotangoilla. Isoimmat haasteet teräksisissä osissa muodostuisivat kustannuksista sekä teräksisten osien kiinnittämisestä kattotuoleihin.

Kuva 15. Havainnollistava esimerkki kattoristikon vahvistamisesta. (Wooden roof structures, n.d.)



Kuva 16. Esimerkki kattoristikon vahvistamisesta. (Branco ym, 2016)



Kattoristikoiden vahvistuslaskenta toteutetaan käyttämällä samoja, rakenneanalyysissä käytettyjä kaavoja. Kaavat muuttuvat vain poikkileikkauksen osalta, lisäten vahvistuksen mitoituksessa käytettyjä poikkipinta-aloja vastaamaan vahvistettujen ristikon eri osien poikkileikkauksia. Tällöin lisätyt vahvikkeet mitoitetaan samoilla puun ominaislujuuksilla kuin alkuperäiset rakenneosat. Tämä yksinkertaistaa mitoituksen sekä lisää varmuutta rakenteille. Rakenneanalyysin yhteydessä liitteessä 1 käsitellään vahvistusten mitoitusta lyhyesti.

### 8.3 Suositus ja toteutus

Toteutusvaiheessa on kaksi eri vaihtoehtoa toteuttaa korjaustoimenpiteet. Aluksi kuitenkin helposti siirrettävä arvotavarat siirretään, ja loput, jotka eivät ole korjaustöiden edessä, suojataan hyvin. Tämän jälkeen ensimmäisessä vaihtoehdossa, rakennuksen koko tiilikate puretaan. Samalla muut, tarvittavat kevyet rakenteet puretaan kantavien rakenteiden tieltä. Tämän jälkeen alkaa vaativin vaihe; yläpohja tuetaan, vanhat aukot puretaan ja rakennetaan uusiksi, yksi aukko kerrallaan. Tuennat tehdään aukon leveys kerrallaan, väliaikaisesti asetettavalla palkilla, joka kiilataan ottamaan kuormituksia vastaan. Tämän jälkeen vanha aukkorakenne ja pilarit puretaan. Uudet pilaritolpat juotosvaletaan olemassa olevalle betonisokkelille ja sidotaan toistaiseksi ympäröiviin rakenteisiin. Näiden päälle asennetaan liimapuupalkki ja tämä kiinnitetään teräksisillä liitos osilla pilareihin kiinni. Tämän jälkeen, kun aukotuksen kantavat rakenteet ovat asennettuina, voidaan suorittaa ristikoiden vahvistustoimenpiteet asentamalla ristikoiden kylkeen vaadittavat vahvikemateriaalit. Toimenpiteiden jälkeen rakenteet kuormitetaan poistamalla kiilat tuennan ja ristikoiden välistä, minkä jälkeen tuenta voidaan poistaa ja siirtää seuraavalle aukolle. Pilarien väliaikaisia siteitä ei toistaiseksi poisteta. Kunnes samat toimenpiteet on saatu tehtyä muille aukoille, sidotaan kattoristikot ja asennetaan lopulliset siteet muihin rakenteisiin kiinni, minkä jälkeen voidaan pilarien väliaikaiset sidonnat poistaa. Tämän jälkeen rakennuksen vanhat ruoteimet poistetaan osittain aluskatteen ja uusien ruoteimien asennuksen yhteydessä. Uudet ruoteimet asennetaan vastaamaan uusien tiilien jakoa ja tiilet ladotaan katolle.

Toisella tavalla tehtäessä tiilikatetta puretaan vain 5 m sektori kerrallaan, jolloin hankkeen aikaisesta mahdollisesta suojauksesta voidaan luopua. Tällöin on huomioitava kuormituksen alla olevat rakenteet ja muodonmuutokset työn alla olevan sektorin kanssa. Aukkojen puoleisen lappeen puoli toteutettaisiin aukkojen leveys kerrallaan siten, että uusi aukkopalkki saadaan asennettua sekä uudet ruoteimet, aluskate ja tiilet saadaan paikalleen. Ruoteimia poistetaan osittain ja uusia rakennetaan saman aikaisesti, jolloin kattoristikot eivät pääse kaatumaan. Ennen tiilikatteen ja aluskatteen asennusta kattoristikot kevennetään muodonmuutosten minimoimiseksi ja vahvistetaan työstettävän sektorin alueelta. Kun vahvistus on valmis, voidaan vesikate asentaa loppuun.

## 9 Yhteenveto

Korjausrakentaminen on ollut viime vuosina kasvussa, vaikka muu rakennusteollisuus on kärsinyt viimevuotisten maailman markkinatilanteen muutoksista. Kuitenkin olemassa olevaa rakennuskantaa täytyy ylläpitää ja huoltaa, mikä tuottaa tehtävää työtä alan sisällä. Rakentamisen kulttuuri ja rakentaminen itsessään on muuttunut viimevuosisadan aikana merkittävästi, johon on vaikuttanut muun muassa käytetyt määräykset, työturvallisuus sekä lisääntynyt tietoisuus pitkäikäisestä ja ekologisesta rakentamisesta. Kyseiset aiheet ja teemat ovat muovanneet rakentamisprosessia tarkemmaksi sekä tehokkaammaksi. Rakenteiden optimointi on ollut yksi osa tätä kyseistä muutosta, mikä käytännössä tarkoittaa, että uudisrakentamisessa ei ylimitoiteta ja jätetä käyttämättä rakenteiden ylimääräistä kapasiteettia, jos näin ei ole tarve. Lisäksi vanhoja kohteita halutaan säilyttää niiden historiallisen ja arkkitehtuurisen merkittävyyden takia, eikä vanhojen kohteiden purkaminen ole aina paras vaihtoehto ekologisuuden sekä kustannusten ynnä muiden esteettisten, taloudellisten sekä rakentamisen ja käytön kannalta.

Opinnäytetyössä selostetaan yleisesti ja laajasti korjausrakentamiseen liittyvää tietoa tarkoituksena antaa laaja kuva, mitä kaikkea pitää selvittää ja ottaa huomioon korjausrakentamishankkeen suunnittelussa ja toteuttamisessa. Opinnäytetyön alussa käsitellään korjausrakentamiseen ja rakentamiseen yleisesti liittyvää historiaa ja määräyksiä ja ohjeita. Näiden pohjalta on tarkoitus muodostaa laaja kuva huomioon otettavista aiheista, rakenneosista ja materiaaleista sekä suunnitteluun vaikuttavista määräyksistä. Seuraavaksi työssä käsiteltiin rakenteissa huomioitavia asioita, vaurioita ja puutteita, sekä mitä näiden vahvistamisessa pitää huomioida. Työn lopussa asiaa havainnollistetaan esimerkkikohteen avulla.

Opinnäytetyön päätavoitteet ja tulokset käsittelevät korjausrakentamisen yhteydessä tehtävää kantavien rakenteiden selvitystä ja analysointia, sekä toimenpiteitä kantavuuden varmistamiseksi. Tätä havainnollistetaan esimerkkikohteen avulla samojen teemojen ja aiheiden pohjalta, kuin työssä käsitellään ennen esimerkkikohdetta. Työn tuloksia ja selvitettyjä pohjatietoja päästään hyödyntämään esimerkkikohteen analysoinnissa,

suunnittelussa ja toteutuksessa, mutta tietoja voidaan hyödyntää lisäksi myös kartoittaessa muita olemassa olevia rakennuksia.

Aiheita ja teemoja käsiteltiin valmiiden ja yleisesti käytössä olleiden lähteiden avulla. Lähteinä hyödynnettiin muun muassa RIL-kirjallisuutta, Rakennuslehden julkaisuja, eurokoodeja, ympäristöministeriön ohjeita, lakipykälää sekä alan muuta kirjallisuutta ja eri nettilähteitä, lisäksi hyödynnettiin eri koulujen luentomateriaaleja. Samalla opinnäytetyöstä keskusteltiin prosessin aikana eri ammattilaisten kanssa, sekä keskusteltiin tulevasta hankkeesta kiinteistön omistajan kanssa. Lähdekirjallisuus osoittautui olevan osin vanhaa, mutta edelleen laajalti käytettyä samankaltaisia teemoja ja aiheita käsitellyissä lopputöissä. Jo vanhemmissa lähteissä muun muassa yleisesti käsitellyt hyvät rakentamisen tavat, sekä rakennemitoituksen selkeän kuvan ylläpitäminen on tärkeä osa korjausrakentamisen suunnittelua, jotta päästään parhaaseen lopputulokseen. Huomioitavaa on kuitenkin määräysten ja muiden lain sekä ohjeiden ajankohtaisuus kirjallisuuden sisällä.

## **9.1 Tulokset ja johtopäätökset**

Opinnäytetyössä hyödynnetään Satakuntalaisen maa- ja metsätalousyrittäjän piharakennusta, joka on rakennettu 1983 ja laajennettu 2001. Kohteeseen on suunnitteilla tiilikatteen vaihto, minkä yhteydessä kohteen omistaja haluaa tarkastella kantavat rakenteet nykyään voimassa olevien suunnittelukuormitusten mukaisesti. Tämä muodostaa opinnäytetyötä ajatellen mielekkään, mutta laajan käsiteltävän kokonaisuuden. Käsitelty kohde toimii esimerkin mukaisesti, mitä kyseisenkaltaisissa hankkeissa pitää ottaa huomioon. Tämän pohjalta syntyy käsitys miten korjausrakentamisessa suunnitteluprosessi pitää sisällään, mitä pitää ottaa huomioon ja miten toimitaan. Opinnäytetyön pohjalta syntyy tulevaa hanketta varten kattava ja tärkeää tietoa sisältävä paketti korjaushanketta varten. Tämän pohjalta kohteen omistaja valitsee toteutustavan, mitä voidaan alkaa toteuttamaan.

Kohdetta varten syntyi eri toteutusvaihtoehtoja. Paikan päällä tehtyjen tarkasteluiden pohjalta pystyttiin muodostamaan selkeä kuva, mitä kohteessa voitaisiin tehdä, mikä on mahdollista toteuttaa ja suunnitella sekä miten nämä toimenpiteet suoritettaisiin. Eri vaihtoehtojen välillä esiintyi hankkeen laajuuden ja kustannusten kannalta eri kokoisia

vaihtoehtoja, mitkä pystyttiin rajaamaan toteutuskelpoiseen ja kustannustehokkaaseen vaihtoehtoon. Vaikka kohteen rakenteellisia selvityksiä tehdessä oli jo melko selvää, mitä kohteessa halutaan tehdä, millä resursseilla sekä mikä on mahdollista toteuttaa, tärkeiksi työkaluiksi osoittautui laskennallinen analyysi, sekä pohjatietojen koko selvitysprosessi vanhoillisesta rakentamistavasta ja siihen liittyvistä aiheista. Alustavan käsityksen mukaan, ennen tarkasteluita, olettamuksena oli, että rakenteita täytyy vahvistaa tai suorittaa muita toimenpiteitä.

Korjauskohteen suunnittelun aikana vastaan tuli erinäisiä ongelmia liittyen käytettäviin suunnittelunormeihin sekä vahvistamis- ja toteutustapaan. Lisäksi pääosin puuttuvat suunnitelmat osin hankaloittivat kattavan rakenteellisen kuvan muodostamista. Tätä kuitenkin helpotti rakenteiden avonaisuus, jolloin purkutöitä ei tarvinnut tehdä, jotta päästiin arvioimaan rakenteet, ja rakenteellinen toiminta saatiin analysoitua. Kohteessa on aikoinaan käytetty itsesahattua puumateriaalia, eikä näitä ole aikoinaan tarvinnut lujuusluokitella ja leimauttaa. Tämä on omiaan luomaan epävarmuustekijöitä rakenteiden kestävyyskannalta. Kuitenkin tehtäessä tarkempia tarkasteluita, osoittautui puu suhteellisen terveeksi ja kykeneväksi kantamaan suunnitellut kuormitukset. Lenkouksia, haitallisia oksia ja mittavia halkeamia rakennemateriaalissa ei esiinny. Lisäksi tehdyt epäviralliset koekuormitustestit samankaltaisella puumateriaalilla osoittivat vanhemman materiaalin luotettavuutta vanhojen normien mukaisiin ominaislujuuksiin.

Kohde on rakenteellisesti toteutettu melko hyvin, josta kertoo jo sen säilyminen vuodesta 1983 tähän päivään asti ilman merkittäviä kallistumia, notkahduksia tai kosteusvaurioita. Lisäksi hyvä rakennemekaaninen ymmärrys sekä toteutus esiintyy rakennuksessa vähäisten asennusvinouksien, kallistumien sekä liitosten virheiden vuoksi. Merkittäviä painaumuksia rakenteissa ei ole havaittavissa ja liitosten toiminta osoittautuu tehokkaaksi. Kuitenkin kohteen aukkorakenteissa esiintyi kantavuuden kannalta epävarmuustekijöitä, kuten pitkittäistä halkeamaa tuen läheisyydessä, taipumaa sekä tukialan riittävyys.

Tarkasteltaessa kohdetta laskennallisesti, saatiin kohteen rakenteellisesta toiminnasta ja kestävydestä parempi käsitys. Kohdetta haluttiin tarkastella nykyään voimassa olevien kuormitusten avulla. Tämä jo itsessään nostaa peruslumikuorman arvoa 1980-luvun

todennäköisesti käytetyn 1,8 kN/m<sup>2</sup> arvosta 2,5kN/m<sup>2</sup> arvoon. Lisäksi tiilikatteen uusiminen lisää kuormitusta yhteensä 13 kg/m<sup>2</sup>. Näiden lisäksi kohteelle vaikuttavat tuulikuormat laskettiin eurokoodien mukaisesti. Näiden pohjalta muodostui peruskuormitukset, joita käytettiin rakenteiden analysoimiseen ja mahdollisten vahvistustoimenpiteiden mitoituskuormituksina. Mitoituksessa hyödynnettiin rakentamisajankohdan aikaisia suunnittelumääräyksiä, eurokoodeja sekä tietomallipohjaista laskentaohjelmistoa.

Yläpohjalle ja kattotuoleille vaikuttavien kuormitusten seurauksena, täydellä lumikuormalla, kattoristikoiden kantavuuskapasiteetti osoittautuu laskennallisella analyysillä riittämättömäksi. Tämän vuoksi kattoristikoiden ehdotetaan vahvistustoimenpiteitä. Kattotuoleja voidaan vahvistaa käyttämällä vetotankoja, nämä asennettaisiin rakenteisiin siten, että terästangot kantaisivat vedon kautta. Toinen vaihtoehto on lisätä ristikon alapaarten alapintaan uutta vahvikemateriaalia. Tämän lisäksi diagonaalien väliin asennettaisiin uusi diagonaaleja, jotka sitovat alapaarten ja jakavat kuormituksia yläpaarteelta alapaarteelle. Kolmas vaihtoehto on rakentaa puolittainen kattotuoli vanhan kylkeen. Tässä voidaan hyödyntää vanhan ristikon mallia ja materiaalia, johon vahvikeosat voidaan kiinnittää.

Rakennuksen kantavat aukkorakenteet osoittautuivat jo silmämääräisillä tarkasteluilla kantavuudeltansa epävarmaksi täyden kuormituksen alla, sillä taipumat ilman merkittävää lumikuormaa olivat paikoitellen isoja (>10 mm). Näiden laskennallista analysointia koitettiin työn aikana taustalla selvittää, mutta tämä osoittautui haastavaksi käytettyjen ratkaisujen vuoksi. Lisäksi huomioituna yhden aikaisemmin tunkatun aukkorakenteen takia, aukkorakenteille halutaan uusia. Tämä tuo myös tilaa aukoilta, varmuutta kantaville rakenteille, sekä se on tiilikatteen vaihdon aikana suhteellisen helposti toteutettavissa. Kohteen siteet ja jäykisteet ovat toteutettu osittain, kuitenkin toistaiseksi riittävästi ehkäistäkseen rakenneosien muodonmuutokset, siirtymät ja painaumet kohteen elinkaareissa. Nämä täytyy hankkeen yhteydessä päivittää, ja asentaa puuttuvat sidososat sekä jäykiste-elimet. Liitokset ovat toteutettu pääsääntöisesti naulaliitoksien, joiden kunto osoittautuu tarkasteluiden yhteydessä hyväksi. Perustamistapa on aikoinaan ollut oikea, sillä rakennuksen liitoskohdissa ja muissa rakenne-elimissä ei ole havaittavissa siirtymiä, muodonmuutoksia tai painaumuksia.

## 9.2 Vaihtoehtoiset menetelmät

Rakennuksen katolle kertyvä lumikuorma sekä painava tiilikate muodostavat merkittävimmät kuormitukset rakennukselle. Kuormituksia voitaisiin keventää muuttamalla tiilikate peltikatteeksi, mutta asemakaavamerkinnän takia tämä ei ole mahdollista kyseisellä kiinteistöllä. Toinen toteuttamaton vaihtoehto on vaihtaa kantavat kattotuolit kokonaan uusiin. Tämä kuitenkin osoittautuisi kustannuksiltaan merkittäväksi ja purkutöiden määrä lisääntyisi laajasti suhteessa hankkeen kokonaislaajuuteen rakennuksen puolilämpimien tilojen yhteydessä. Rakennus voitaisiin myös kokonaan purkaa, mutta rakennuksessa sijaitsee kiinteistölle tärkeitä toimintoja, minkä vuoksi rakennusta ei kiinteistön arkkitehtuurin ja kustannuskysymysten lisäksi voida tehdä.

Kohdetta pyrittiin lähestyä kattavasta näkökulmasta, jossa tarkasteltaisiin mahdollisimman montaa eri vaihtoehtoja. Näihin lukeutui muun muassa laserkeilaamisen hyödyntäminen, mutta tämä ei olisi tuonut lisäarvoa rakennesuunnitteluun. Lisäksi eri vahvikemateriaaleja pohdittiin, mutta näiden toteutustavan monimutkaisuus olisi haastava, verraten samaa materiaalia oleviin vahvikemateriaaleihin, jotka pystytään kiinnittämään kätevästi olemassa olevien kattotuolien kylkiin. Aukkorakenteiden toteutusvaihtoehtoja käytiin läpi, mutta näiden rakennemekaniikka ja aikaisemmat toimenpiteet ohjasi suunnittelua uusittuja aukkorakenteita kohti. Hiilikuituvahvistaminen oli osana arviointia, mutta rakenteiden koko ja soveltuvuus ei takaa tehokkainta vahvistusta rakenteille. Epävirallisesti suoritettut koekuormitukset kattotuolissa käytettyjen vastaavanlaisten puumateriaalien lisäksi, kattotuolien koekuormitus olisi voinut mahdollisesti olla toteutettavissa oikeilla kuormitusvälineillä. Tämän olisi suoritettu poistamalla yksi ehjä kattotuoli ja kuormitettu se omanaan murtoon asti.

Rakennushankkeita on aina käsiteltävä yksilöinä, minkä takia ei voida tehdä yhtä toimivaa kaavaa kaikille korjauskohteille. Korjauskohteet eroavat monella tapaa keskenään, jolloin samat asiat saattavat käyttäytyä eri tavoin eri kohteissa. Korjauskohteita varten on kuitenkin luotu monia laadukkaita lopputöitä, jotka selittävät eri tyyillisille kohteille omia vaurioitaan ja vauriotyyppejä. Näiden pohjalta voidaan muodostaa ominaisia korjaus- ja ratkaisuvaihtoehtoja kohteessa esiintyvistä ongelmista ja vaurioista silmällä pitäen. Samalla kun

pohditaan rakennuksen korjausvaihtoehtoja, on tärkeää ottaa huomioon tulevien tilojen käyttäjien tarpeet. Jos näitä ei hankeselvitysvaiheessa ole selvillä, on suunnittelussa järkevää keskittyä myös tilojen ja rakennuksen muutosjoustavuuteen.

Rakenteellisen vahvistamistavan valinta ei aina ole yksiselitteistä, mihin liittyy läheisesti hankkeen toteutumisen kannalta kustannuskysymykset. Rakenteita voidaan esimerkiksi uusia kokonaan, mutta tämä lisää huomattavasti kustannuksia. Ongelmaksi voi muodostua myös, jos rakenteet on säilytettävä entisen kaltaisena, milloin ei voida rakenteita vain purkaa, vaan on mietittävä myös vaihtoehtoisia keinoja. Valittaessa vääränlaista vahvistusmenetelmää, voidaan rakennus pilata arkkitehtuurisesti, tilallisesti ja pahimmillaan rakenteellisesti. Lisäksi kiinteistön asemakaava voi luoda merkittäviä rajoituksia kiinteistön korjausta kantavien rakenteiden näkökulmasta.

### **9.3 Hyödyntäminen ja pohdinta**

Esimerkkikohteen rakenteellista analysointia tehdessä tuli ilmi korjauskohteen todellinen luonne, joka esiintyi monimutkaisesti selvitettävillä rakennekäyttötymisellä sekä oikeiden rakenteellisten voimien selvityksellä. Korjauskohteissa tärkeää roolia pitää myös tuennat, jotka vain korostuvat, mitä isompiin hankkeisiin mennään. Opinnäytetyön avulla saadaan laadukasta tietopohjaa opinnäytetyössä käsitellyn kohteen korjaushanketta varten. Lisäksi työssä käsiteltyjä aiheita voidaan käyttää muiden samantyylisten korjauskohteiden selvitysmallina tuleville muutos- ja korjaustöille. Opinnäytetyön alussa käsitelty teoriaosuus osoittautui yleishyödylliseksi pohjatiedoksi rakentamiselle ylipäätään sekä korjausrakentamiskohteiden alustavien selvitysten esitiedoksi. Työssä käsiteltyjen aiheiden selvitystyö lisäsi opinnäytetyöprosessin omaa arvoaan tekijälleen, mitkä myös esiintyivät tärkeänä pohjatietona esimerkkikohteen käsittelyssä.

Vaikka rakentamisessa ei entisaikaan ollut käytössä yhtenäisiä normeja, rakentamisen taito on ollut hyvin tiedossa. Tosin, ajan saatossa heikommat rakennukset ovat saattaneet tuhoutua, milloin jäljelle ovat jääneet vain terveimmät kiinteistöt. Suomessa on kuitenkin hyvin säilyneitä rakennuksia, vaikka Suomen ilmasto luokin haasteita pitkäikäisten rakennusten luomisessa. Nykypäivänä näiden vanhojen kohteiden kunnostaminen ja

korjaaminen alkaa kuitenkin tulla ongelmaksi, sillä korjausrakentamisen suunnittelun osaaminen ja tietämys ei ole sille vaaditulla tasolla. Vanhat rakenteet ja materiaalit käyttäytyvät huomattavasti eri tavalla kuin nykypäivänä ja ovat unohtuneet historiaan. Jo muun muassa rakennusmateriaalien ominaisuudet vaihtelevat jo itsessään, riippuen eri ympäristöstä ja ilmastosta, käyttötavasta sekä materiaalin alkuperästä. Uusia ja vanhoja materiaaleja yhdistettäessä, syntyy erittäin helposti toimimattomia rakenteita, jotka pilaavat ja tuhoavat arkkitehtuurisesti merkittäviäkin rakennuksia.

Opinnäytetyössä käsitelty lähestymistapa kohteen analysointiin ei ole ainoa tapa lähestyä samankaltaisia hankkeita. Kuitenkin yleisesti käytetyt ja hyväksytyt tavat ovat yleensä toimivia, mutta nämäkin saattavat riippua eri kohteiden vaatimuksista. Kuten aikaisemmin on todettu, kiinteistöissä, joissa suunnitellaan korjaustoimenpiteitä, esiselvitykset suoritetaan yleensä liian pintapuolisesti. Tämän vuoksi korjauskohteita analysoitaessa ja tarkasteltaessa on selvitykset tehtävä perinpohjaisesti. Lisäksi tärkeää on noudattaa voimassa olevia määräyksiä, mitä korjausrakentamiselle on asetettu.

Opinnäytetyön aihe käsittelee korjausrakentamisessa vaativaa ajatustyöskentelyä laajasti, minkä vuoksi monet tärkeät aiheet jäävät käsittelemättä vastoin niiden tärkeysastetta. Työn pohjalta muodostuneet ratkaisut käsittelevät monipuolisesti kohteen eri tarpeita ja onnistuneen toteuttamisen kannalta. Vähäisen suunnittelukokemuksen vuoksi rakenneanalyysi sekä vahvistusehdotukset mitoitettiin erityisen varmallalla puolella. Tämä ei optimoinnin kannalta ole paras tapa, mutta rakenteellisen turvallisuuden kannalta hyvä tapa tehdä suunnittelua.

Korjausrakentaminen kantavien rakenteiden näkökulmasta on aina vaativaa suunnittelua, sillä puhutaan rakennuksen kantavista rakenteista, jotka sortumalla voivat aiheuttaa taloudellisen sekä ympäristöllisen haitan lisäksi hengellisiä vaaroja. Tätä opinnäytetyössä pyritään syvällisemmin ehkäisemään, ettei viallisia rakennuksia ja rakennelmia syntyisi, ja voitaisiin ylläpitää arkkitehtuurisesti historiallista ja vanhoillista rakentamista, säilyttäen käyttäjäystävällisyyden ja kiinteistössä asioivien hyvinvoinnin vanhoja perinteitä kunnioittaen. Varsinkin rakennesuunnittelu-uran alkupuolella, opinnäytetyö antoi valtavasti haastetta

ennakkokäsityksen vastaisesti. Itse projektia oli mielekäs alustaa opinnäytetyön avulla, mikä tuo avaimia ja eväitä ehdottomasti myös työelämään.

Opinnäytetyötä tehdessä löytyi monia laadukkaita sekä mielenkiintoisia lähteitä ja materiaalia, joihin jokaisen alalla työskentelevän olisi hyvä tutustua ja tuntee. Jatkosuunnitelmia ja lisätutkimuksia voitaisiin tehdä liittyen vanhojen naulaliitosten kestävyteen ja näiden lisäliittimien ja -liitosten mitoittamiseen. Mielenkiintoista olisi myös tutkia eri vahvistamistapoja varsinkin erilaisille kattotuoleille sekä vahvistamisvaihtoehtojen valikoimaan. Lisäksi olemassa olevien kattoristikoiden koekuormitus voisi toimia omana työnään, miten vanhan kattoristikon voisi koekuormittaa, millä kalustolla ja näiden pohjalta tehdä kattavampi analyysi rakenteiden käyttäytymisestä. Myös vanhojen rakennusmateriaalien ominaislujuuksien paikkaansa pitävyyttä aikansa määräyksiin olisi mielekästä tutkia, sillä muun muassa kohteessa käytetyn rakennemateriaalin lujuudet ovat aikansa määräyksiin verrattuna suhteellisen korkeat.

## Lähteet

- Advanced FRP Systems. (23.3.2022). *How to Repair Concrete Columns with Carbon Fiber Composites*. Haettu 19.11.2022 osoitteesta: <https://www.advancedfrpsystems.com/how-to-repair-concrete-columns/>
- Angervuori, A. (2.3.2018). *Klassikko nimeltä Rakentajain kalenteri*. Rakennustaito.
- Architecture & Design. (n.d.). *Rondo Walk About brochure*. Suppliers. [kuva] Haettu 6.5.2023 osoitteesta: <https://www.architectureanddesign.com.au/suppliers/rondo/ceiling-systems#>
- Branco, J., Sousa, H. & Crivellari, G. (22-25.8.2016) Repair techniques used in two existing collar beam trusses: experimental results of full size scale tests. World Conference on Timber Engineering.
- Corradi, M., Osofero, A.I. & Borri, A. (21.1.2019). *Repair and Reinforcement of Historic Timber Structures with Stainless Steel – A Review*. [kuva] Haettu 5.5.2023 osoitteesta: [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiU9Z75ov\\_9AhXC6CoKHU52DzcQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.semanticscholar.org%2Fpaper%2FRepair-and-Reinforcement-of-Historic-Timber-with-Corradi-Osofero%2Fe83c011328238bc2a6ad065a6a736cfa6840e7d8&usq=AOvVaw029C06rJt0ACKFgXzLsYGa](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiU9Z75ov_9AhXC6CoKHU52DzcQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.semanticscholar.org%2Fpaper%2FRepair-and-Reinforcement-of-Historic-Timber-with-Corradi-Osofero%2Fe83c011328238bc2a6ad065a6a736cfa6840e7d8&usq=AOvVaw029C06rJt0ACKFgXzLsYGa)
- Eurokoodi 5. (16.6.2014) Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Eurokoodi help desk, (n.d.). *Historiaa*. Haettu 16.1.2023 osoitteesta: <https://www.eurocodes.fi/historiaa/>
- Forsblom, K. (29.4.2011). *Rakenteellinen palomitoitus eurokoodeilla korjaushankkeessa*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Gyproc käsikirja. (4.2018). *Gyproc käsikirja, Kevytrakennejärjestelmät*. Saint-Gobain Finland Oy.

- Kolehmainen, J. (2018). *Teräsrakenteiden huomiointi korjausrakennesuunnittelun laadunvarmistuksessa*. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu.
- Korkala, T. & Luostarinen, M. (1994). *Rakennusvauriot kiinteistönpidossa*. Suomen Kiinteistöliitto.
- Kuhlman, A. (n.d.). *Rakentamismääräyskokoelman uudistus astui voimaan 2018 alussa*. Rakentajan ABC. Haettu 5.5.2023 osoitteesta:  
<https://www.rakentajanabc.com/rakentamismaarayskokoelman-uudistus-astui-voimaan-2018-alussa/>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/5.2.1999.
- Mölsä, S. (22.12.2017-b). *Tammikuussa rakennuslupaa hakevan on muutamassa päivässä ehdittävä opetella satoja muutoksia määräyksiin*. Rakennuslehti. Haettu 5.5.2023 osoitteesta: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/12/tammikuussa-rakennuslupaa-hakevan-on-muutamassa-paivassa-ehdittava-opetella-satoja-muutoksia-maarayksiin/>
- Mölsä, S. (26.1.2017-a). *Rakennustyömaat ovat 50 vuodessa muuttuneet sotatantereista siisteiksi ja monikansallisiksi työpaikoiksi*. Haettu 2.5.2023 osoitteesta:  
<https://www.rakennuslehti.fi/2017/01/rakennustyomaat-ovat-50-vuodessa-muuttuneet-sotatantereista-siisteiksi-ja-monikansallisiksi-tyopaikoiksi/>
- Onnettomuustutkintakeskus. (21.1.2014). Y2013-01 Lapsen kuolemaan johtanut ratsastusmaneesin sortuminen Laukaassa 13.2.2013.
- Onnettomuustutkintakeskus. (22.11.2019). Y2019-01 Kolmen lapsen kuolemaan johtanut mökkipalo Kittilän Levillä 12.4.2019.
- Rakentaja.fi. (7.2.2023). *Mitä lupia ja suunnitelmia oman kotinsa remontoija tarvitsee?* Haettu 2.5.2023 osoitteesta:  
[https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11595/mita\\_lupia\\_tarvitset\\_remonttiin.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11595/mita_lupia_tarvitset_remonttiin.htm)
- Ratu S-1221. (11.2.2009). *Purkutöiden suunnittelu. Purkusuunnitelma ja purkutöiden tehtäväsuunnittelu*. Rakennustieto Oy. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20S-1221>

RIL 205-1-2009. (2009). Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017. (2017). Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Sisäasiainministeriö. (14.4.1982). Määräykset 1983. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Suomen rakentamismääräyskokoelma B1. (RakMK B1).

Sisäasiainministeriö. (21.6.1978). Ohjeet 1978. Puurakenteet. Suomen rakentamismääräyskokoelma B10. (RakMK B10).

Suomen betoniyhdistys. (2016). *Betonirakenteiden korjauskohteet BY41*. Suomen betoniyhdistys ry.

ThePhillyLawyers, (n.d.) *Salvation Army building collapse*. Haettu 16.5.2023 osoitteesta: <https://thephillylawyers.com/stories/salvation-army.html>

Tompuri, V. (12.8.2022). *Toimisto vanhan parkkihallin päälle*. *Rakennuslehti*, Työmaa (nro 23).

Tumialan, G., Galati, N. & Nanni, A. (6.2014). Load Testing of Concrete Structures. *Structure magazine*. [kuva] Haettu 6.5.2023 osoitteesta: <https://www.structuremag.org/?p=2594>

Uotila, U., Saari, A. & Junnonen, J.M. (2021). *Vaativan korjaushankkeen suunnittelun johtaminen*. Rakennustieto OY.

Vesi. (n.d.) *Kattojen lumikuorma*. Ympäristö.fi. Haettu 2.5.2023 osoitteesta: [https://wwi2.ymparisto.fi/i2/90/rokg2/tanaan\\_fi.html](https://wwi2.ymparisto.fi/i2/90/rokg2/tanaan_fi.html)

Wooden roof structures. (n.d.). *Services*. [kuva] Haettu 6.5.2023 osoitteesta: <https://woodenroofinc.com/truss-services.html>

WPLG Local 10. (24.7.2018). *Demolition goes wrong, sending Miami Beach building crashing down* [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=psWCOTSilaw>

Ympäristöministeriö. (12.12.2019). Rakenteiden lujuus ja vakaus. Rakenteiden kuormat.

Suomen kansallinen liite. Haettu 6.5.2023 osoitteesta:

<https://www.eurocodes.fi/kuormat/>

Ympäristöministeriö. (2003). *Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa*. Ympäristöopas 39.

Ympäristöministeriö. (22.3.2022). *Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen jatkosta linjaus: uusi rakentamislaki sekä alueidenkäytön digitaalisuus eduskuntaan syksyllä*.

Valtioneuvosto. Haettu 2.5.2023 osoitteesta: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/maankaytto-ja-rakennuslain-uudistuksen-jatkosta-linjaus-uusi-rakentamislaki-seka-alueidenkayton-digitaalisuus-eduskuntaan-syksylla>

Ympäristöministeriö. (n.d.-a). *CE-merkintä*. Haettu 2.5.2023 osoitteesta: <https://ym.fi/ce-merkinta>

Ympäristöministeriö. (n.d.-b) *Suomen rakennusmääräyskokoelma*. Haettu 2.5.2023 osoitteesta: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/17.6.2014.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/24.11.2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/28.11.2017.

Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista. YM1/60/2015. (12.3.2015).

## Liite 1: Puuhallien kuntotarkastus

Puuhallien kuntotarkastus LIITE 1  
Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakennuksen yleistiedot 1 (1)

## PUURAKENTEIDEN KUNTOTARKASTUS

KOHDE _____ Osoite: _____ Omistaja tai haltija: _____ Tarkastaja(t) _____ Tarkastuspvm. _____
---

## Rakennuksen yleistiedot ja mitat:

Pituus \_\_\_\_\_ m, Leveys (jänneväli) \_\_\_\_\_ m, Vapaa korkeus \_\_\_\_\_ m

Rakennuksen muoto: \_\_\_\_\_

Pääkannattajia yhteensä \_\_\_\_\_ kpl, kehäväli \_\_\_\_\_ m.

Pääkannattajien rakennetyyppi: \_\_\_\_\_  
 (palkki (suora harja- vai pulpetti), ristikko, kaari, kehä, vetotankokannate, muu rakenne)

Pääkannattajien tuenta sivusuunnassa (tasossa pysyminen)

Yläreuna: \_\_\_\_\_

Alareuna: \_\_\_\_\_

Pääpilarit (jos on), rakennetyyppi: \_\_\_\_\_

Päätypilarit, rakennetyyppi: \_\_\_\_\_

Pilarien kiinnitys perustuksiin:

Rakennuksen pituussuuntaiset rakenteet

Kattorakenteet: \_\_\_\_\_

Seinäarakenteet: \_\_\_\_\_

Jäykistävät rakenteet:

Pituussuunnassa: \_\_\_\_\_

Leveyssuunnassa: \_\_\_\_\_

**Puuhallien kuntotarkastus****LIITE 1****Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakenteiden kantavuus 1 (2)**

Pvm: \_\_\_\_\_

Tarkastuksen suorittajat: \_\_\_\_\_

*Yksi pääkannatinlinja tutkitaan järjestelmällisesti mitaten.**Muut tarkastetaan silmämääräisesti kiikaria apuna käyttäen.***1. Pääkannattimet ja pilarit**

- Kannatinväli (keskeltä keskelle) \_\_\_\_\_ mm
- Pääkannattimen mitat: korkeus \_\_\_\_\_ mm, leveys \_\_\_\_\_ mm
- Pilarin mitat: pituus : \_\_\_\_\_ mm, poikkileikkaus: \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ mm<sup>2</sup>
- Pääkannattimien ja pilarien laatu-/lujuusluokka (mahdolliset leimat)
- Pilarin asennusvinous \_\_\_\_\_ mm  $\leq H/200 =$  \_\_\_\_\_ mm. Kaikki pilarit vinos-  
sa  samaan suuntaan (sallittava vinous puolitettava  $\leq H/400$ ) vai  satunnaisesti vinossa
- Pääkannattimen asennusvinous \_\_\_\_\_ mm  $\leq 10 + (h - 1000)/200 \leq 25$  mm = \_\_\_\_\_ mm.  
Kaikki vinossa  samaan suuntaan (sallittava vinous puolitettava ) vai  satunnaisesti vinossa.
- Pääkannattimien lenkous (vääryys sivusuuntaan) \_\_\_\_\_ mm  $< L/300 =$  \_\_\_\_\_ mm
- Ristikoilla sisäsauvojen suurin vääryys \_\_\_\_\_ mm  $< l/300 =$  \_\_\_\_\_ mm

**=> Pääkannattimien ja pilarien vastaavuus suunnitelmiin:**

- OK vai
- Epäilyttävä, mikä \_\_\_\_\_

**2. Jäykistävät rakenteet ja niiden liitokset**

- Pääkannattimien nurjahdus- ja kiepahdustuenta: palkkien, kehien, kaarien tai ristikoiden ylä-  
pinnan tuenta sivusuunnassa ja ristikoiden nurjahdustuettavat sisäsauvat ovat kunnossa.
- Katon jäykistys:  vaakaristikot,  teräksiset vetosauvat tai  levyjäykistys (esim. profiilipel-  
ti)
- Pituussuuntaisten seinien jäykistys:
  - tuulipukit,  teräksiset vetosauvahenkset,  levyjäykistys tai  mastopilarit
- Hallin poikittaisjäykistys:
  - kehäjäykistys  mastopilarit tai  jäykistävät päätyseinät (+ jäykkä kattorakenne)

**=> Jäykistävät rakenteet ja niiden liitokset:**

- OK (suunnitelmien mukaiset) vai
- Epäilyttävät:  eivät vastaa suunnitelmia tai  puutteelliset suunnitelmat

**3. Puurakenteiden liitokset ja tukipinnat**

- Liittimien lukumäärät, liitinvälit ja reunaetäisyydet.
- Liittimen tyypit, mitat ja pulttien lujuusluokat.
- Muut liitosten teräsosat ja/tai liitosalueen puuklossit: mitat, laatu, asennustoleranssit.
- Palkkien tai ristikoiden tukipinnat: tukipinta-alat vähintään suunnitelmien mukaisia

=> **Puurakenteiden liitokset ja tukipinnat:**

- OK (suunnitelmien mukaiset) vai
- Epäilyttävä, mikä

**4. Pääkannattimiin tuetut sekundaarit ja niiden kiinnitykset**

- Sekundaariväli (keskeltä keskelle) \_\_\_\_\_ mm
- Sekundaarikannattimen mitat: korkeus \_\_\_\_\_ mm, leveys \_\_\_\_\_ mm
- Sekundaarien laatu-/lujuusluokka (leimat)
- Sekundaarien liitokset ja/tai tukipinnat rakennesuunnitelmien mukaiset

=> **Sekundaarit ja niiden liitokset:**

- OK (suunnitelmien mukaiset) vai
- Epäilyttävä, mikä

**5. Rakentamisen jälkeen tehdyt kantavien rakenteiden korjaukset tai muutokset**

- Ripustukset puurakenteisiin (esim. tulostaulut, IV-laitteet, mainostaulut, lisäkatsomot)
- Katon lisäkuormitukset (esim. IV-koneet, mainostaulut tai lunta keräävät esteet, katokset tvs.)
- Kantavia rakenteita poistettu tai siirretty esim. seiniin tehtyjen uusien aukkojen kohdalta
- Kantaviin puurakenteisiin tehdyt reiät ( $\varnothing \geq 6$  mm) tai lovet

=> **Kantavien rakenteiden muutokset ja/tai lisäkuormitukset:**

- OK: ei ole tai on tehty sitä varten laadittujen rakennesuunnitelmien mukaan
- Epäilyttävä: tehty ilman rakennesuunnitelmia tai niitä noudattamatta

*Mikäli tarkastuksessa tuli ilmi yksikin "Epäilyttävä" tekijä, tulee selvittää puutteen vakavuus*

**Puuhallien peruskuntotarkastus ja jaksotettu kuntotarkastus LIITE 1**  
**Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakenteiden säilyvyys 1 (4)**

Pvm: \_\_\_\_\_

Tarkastuksen suorittajat: \_\_\_\_\_

**1. Sisäilman olosuhteet**

- Mahdollisen jatkuvatoimisen sisäilman kosteus- ja/tai lämpötilaseuranta-arvojen kontrollointi
- Katonrajassa mitattu lämpötila \_\_\_\_\_ °C ja ilman suhteellinen kosteuspitoisuus RH \_\_\_\_\_ %
- Noin 1 m korkeudella lattiapinnasta: lämpötila \_\_\_\_\_ °C ja RH = \_\_\_\_\_ %.

=> **Sisäilman kosteuspitoisuus:**

- OK: kaikki arvot  $40 \% \leq RH \leq 80 \%$**
- Kuiva:  $RH < 40 \%$**  => ks. kuntotarkastusohjeen kohta 2.3.1
- Liian kostea:  $RH > 80 \%$**  => toimenpiteet kuntotarkastusohjeen kohdan 2.3.1 mukaan

**2. Pilarien ja kaarenpäiden perustusliitokset**

- Puupilarin tai -kaaren pääty:  ei ole vai  on kontaktissa betoniin, hiekkaan tai maahan
- Ulos tulevan kaaren tai pilarin sivut:  verhoiltu (laudoitus, pellitys) vai  verhoamattomat
- Puun kosteuspitoisuus pilarin tai kaaren päässä (suurin mitattu arvo): \_\_\_\_\_ %
- Lahovaurioita (piikki- ja kasvukairakokeet):  ei ole vai  voidaan epäillä olevan
- Liitoksen teräsosien korroosiovaurioita:  ei ole vai  on

=> **Pilarien ja kaarenpäiden perustusliitokset:**

- OK: rakennedetalji, verhoilu, kosteuspit.  $\leq 20 \%$ , eikä laho- tai korroosiovaurioita**
- Puun kosteus  $> 20 \%$  tai lahoa tai rakennedetalji mahdollistaa kostumisen**  
=> ryhdyttävä kuntotarkastusohjeen kohdan 2.3.2 mukaisiin toimenpiteisiin

**3. Vesikattovuodot ja kondenssi-ongelmat**

- Kosteusvauriojälkiä katossa:  ei ole vai  on
- Jos on, todennäköinen syy:  rakennusaikainen kastuminen  vesikattovuoto (korjattu vanha vai akuutti) tai  kondenssivesi. => toimenpiteet kuntotarkastusohjeen kohdan 2.3.3 mukaan
- Kondenssia seinärakenteiden kylmäsiltojen yhteydessä:  ei ole vai  on (ks. kohta 2.3.3)

**Puuhallien peruskuntotarkastus ja jaksotettu kuntotarkastus LIITE 1**  
**Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakenteiden säilyvyys 2 (4)**

**4. Home- ja laho**

- Homeen esiintyminen:  ei ole  on
- Lahoja kantavissa puurakenteissa:  ei ole vai  on

*Home- ja lahokasvustot tulee poistaa ja ryhtyä välittömiin toimenpiteisiin, joilla rakenteen liiallinen kostuminen estetään jatkossa. Mikäli kantavissa rakenteissa esiintyy lahoa, tulee ottaa yhteyttä hallinrakennesuunnittelijaan tai muuhun asiantuntijaan kantavuusselvityksen ja mahdollisen korjaussuunnitelman laatimista varten.*

**5. Puurakenteiden halkeamat**

- Suurimmat halkeamat palkeissa tai kaarissa: lähempänä kuin  $L/4$  palkin päädystä: syvyys \_\_\_\_\_ mm ja pituus \_\_\_\_\_ mm keskialueella: syvyys \_\_\_\_\_ mm ja pituus \_\_\_\_\_ mm
- Halkeamat pilarien alapäissä: syvyys \_\_\_\_\_ mm ja pituus \_\_\_\_\_ mm
- Halkeamia liitosalueilla (erityisesti ripustusliitokset tarkistettava):  ei ole vai  on

*Mikäli halkeamia esiintyy liitosalueilla tai palkkien tai pilarien päiden läheisyydessä olevat halkeamat ovat yli 10 mm syviä tai liima- tai kertopuun halkeamat ovat muualla yli 20 mm syviä, tulee ottaa yhteyttä hallinrakennesuunnittelijaan tai muuhun asiantuntijaan kantavuusselvityksen ja mahdollisen korjaussuunnitelman laatimista varten.*

**6. Metalliosien korroosiokartoitus**

- Korroosiota liittimissä:
- ei ole,  on pintaruostetta tai  yli 20 % poikkileikkauksesta on ruostunut
- Korroosiota liitosten teräsosissa:
- ei ole,  on pintaruostetta tai  yli 20 % poikkileikkauksesta on ruostunut
- Korroosiota jäykistävässä teräsosissa ja niiden liitoksissa (huom. profiilipellin kiinnitykset):
- ei ole,  on pintaruostetta tai  yli 20 % poikkileikkauksesta on ruostunut

*Mikäli pintaruostetta esiintyy, on ryhdyttävä kosteutta alentaviin toimenpiteisiin tai ulkoilmarakenteissa ruosteenestomaalauksiin. Mikäli poikkileikkauksen paksuus on pienentynyt ruostumisen seurauksena alle 80 %:iin alkuperäisestä paksuudesta, tulee ottaa yhteyttä AA-luokan puurakennesuunnittelijaan kantavuusselvityksen ja mahdollisen korjaussuunnitelman laatimista varten.*

**Puuhallien peruskuntotarkastus ja jaksotettu kuntotarkastus LIITE 1**  
**Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakenteiden säilyvyys 3 (4)**

**7. Palkkien painumat ja kallistumat tuella**

Mitataan yksi kannatinlinja. Muut tarkistetaan silmämääräisesti

- Pääkannattimien kallistuma tuen kohdalla: \_\_\_\_\_ mm  $\leq 5 \text{ mm} + H/200 =$  \_\_\_\_\_ mm  
( $H$  on palkin tai ristikon korkeus tuen kohdalla)
- Pääpalkkien tai ristikoiden painuma tukeen: \_\_\_\_\_ mm  $\leq 10 \text{ mm}$
- Sekundääripalkkien tai -ristikoiden painuma tukeen: \_\_\_\_\_ mm  $\leq h/50 \text{ mm} =$  \_\_\_\_\_ mm  
( $h$  on palkin tai ristikon paarteen korkeus)
- Rako palkin alareunan ja tuen välillä \_\_\_\_\_ mm  $> 1 \text{ mm}$

*Mikäli esitetyt sallittavat arvot ylitetään, tulee rakenne tarkastaa tai tarkastuttaa AA-luokan puurakenteiden suunnittelijalla.*

**8. Epätavallisen suuret taipumat**

Jos palkkien tai ristikoiden silminnähtävät taipumat vaikuttavat epätavallisen suurilta, ne mitataan tukiväliltä ( $L$ ) esim. linjalangan avulla.

- Mitattu taipuma täydellä lumikuormalla: \_\_\_\_\_ mm  $\leq L/200 =$  \_\_\_\_\_ mm
- Pelkästään omalla painolla rasitetun rakenteen taipuma: \_\_\_\_\_ mm  $\leq L/400 =$  \_\_\_\_\_ mm
- Mitattu yläreunan taipuma sivusuuntaan (lenkous): \_\_\_\_\_ mm  $\leq L/300 =$  \_\_\_\_\_ mm

*Mikäli esitetyt sallittavat arvot ylitetään, tulee välittömästi selvittää syy ja ryhtyä tarvittaessa korjaustoimenpiteisiin.*

**9. Rakentamisen jälkeen tehdyt kantavien rakenteiden korjaukset tai muutokset**

*Tämä kohta ohitetaan, jos tähän tarkastukseen kuuluu myös liitteen 2 mukainen tarkastus.*

- Ripustukset puurakenteisiin (esim. tulostaulut, IV-laitteet, mainostaulut, lisäkatsomot)
- Katon lisäkuormitukset (esim. IV-koneet, mainostaulut tai lunta keräävät esteet, katokset tvs.)
- Kantavia rakenteita poistettu tai siirretty esim. seiniin tehtyjen uusien aukkojen kohdalta
- Kantaviin puurakenteisiin tehdyt reiät ( $\varnothing \geq 6 \text{ mm}$ ) tai lovet

*Tarkistettava, että em. muutokset, lisäkuormitukset tai rakenteiden heikennykset on tehty erillisten rakennesuunnitelmien mukaan tai asiantuvan rakennesuunnittelijan luvalla.*

**Puuhallien peruskuntotarkastus ja jaksotettu kuntotarkastus LIITE 1**  
**Peruskuntotarkastus ja jaksotetut kuntotarkastukset, rakenteiden säilyvyys 4 (4)**

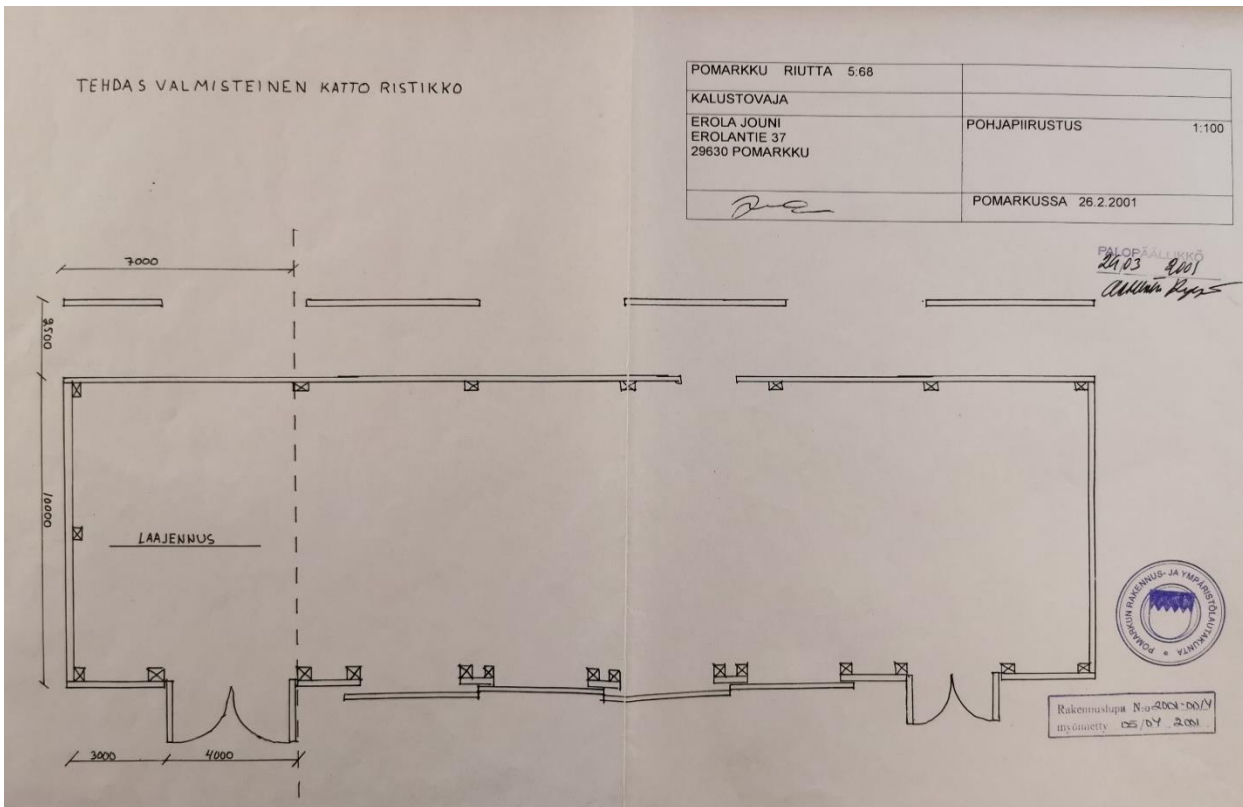
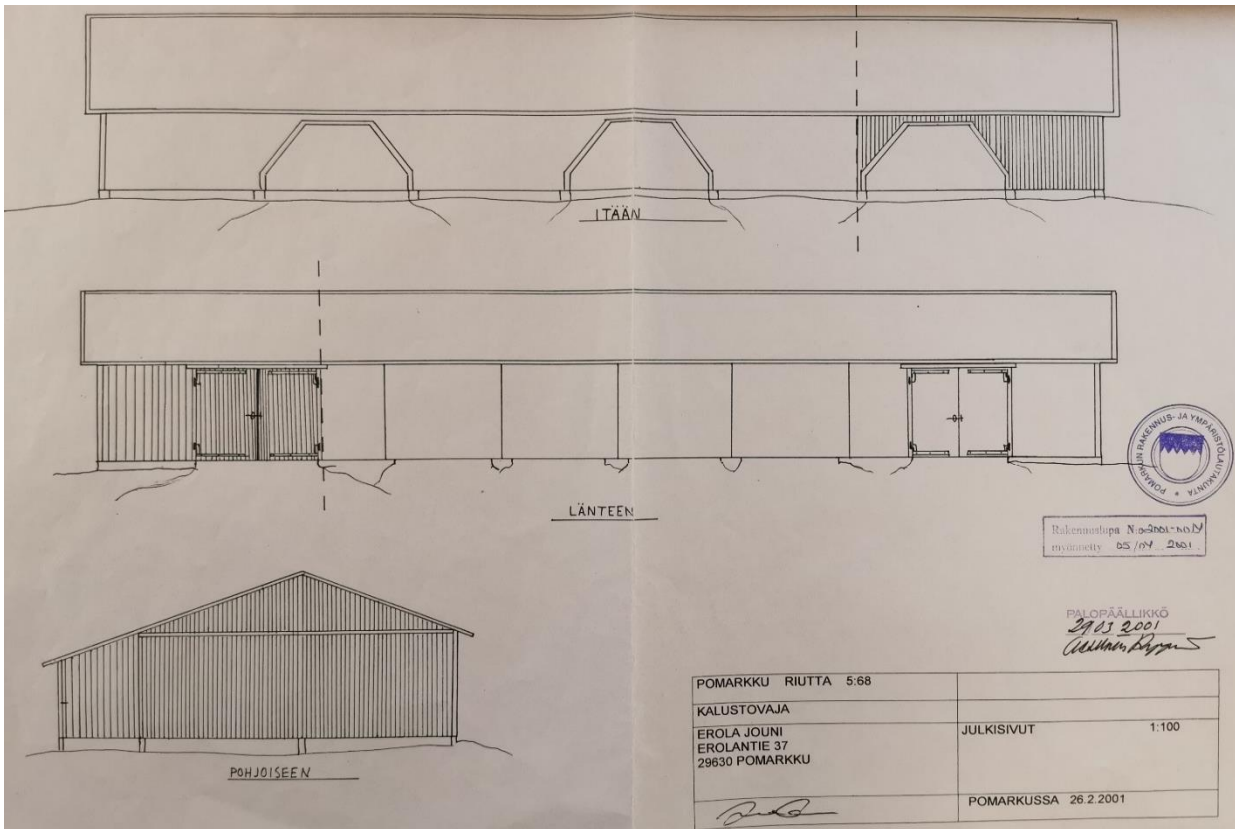
**10. Puurakenteiden onnettomuusvauriot**

Onko rakennuksessa ollut

- törmäyksiä,
- räjähdyksiä,
- tulipaloja,
- ylikuormitustilanteita tai
- muita sellaisia onnettomuuksia, jotka ovat voineet vahingoittaa hallin kantavia ja jäykistäviä rakenteita ja/tai niiden liitoksia.

*Mikäli tällaisia onnettomuuksia on ollut, tulee rakenteiden vaurion vaikutus selvityttää ja ryhtyä korjaustoimenpiteisiin.*

Liite 2: Kohteen valikoitu kuvasarja

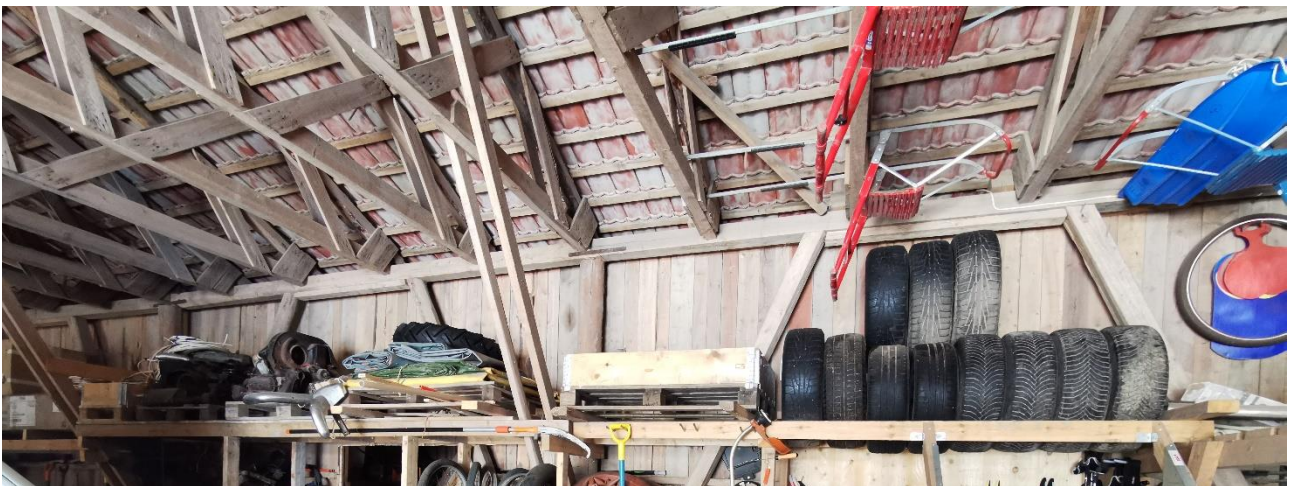






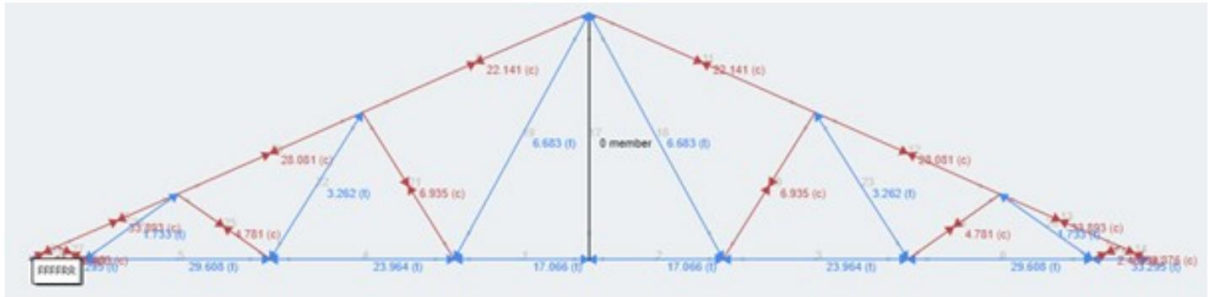






## Liite 3: Kattoristikoiden rakenneanalyysi

## Lähtötiedot



"Malliristikko, jota hyödynnetään tietomallina sisäisten voimien ratkaisua varten."

## Rakennemateriaalien poikkileikkaukset

Ylä- ja alapaarre:  $b_p := 75 \text{ mm}$  ,  $h_p := 125 \text{ mm}$   
 Diagonaalit:  $b_{dia} := 120 \text{ mm} \cdot 2$  ,  $h_{dia} := 20 \text{ mm} \cdot 2$  "(Diagonaalit ovat kahdella puolella)"

## Kuormat:

Yläpaarre (puristuksessa):  $N_{yp} := 36.9 \text{ kN}$   
 Alapaarre (vedossa):  $N_{ap} := 33.72 \text{ kN}$   
 max taivutusmomentti paarteessa:  $M_p := 2.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 Diagonaali vedossa:  $N_{tdia} := 7.95 \text{ kN}$   
 Diagonaali puristuksessa:  $N_{edia} := 8.18 \text{ kN}$   
 Ristikön kuorma tuella:  $F_{tuki} := 21.05 \text{ kN}$

"Suunnittelukuormat laskettu erikseen, ristikon sisäiset voimat saatu SkyCiv -ohjelmalla. Taivutusmomentti rakenteessa laskettu erikseen."

## Materiaalin ominaislujuudet (T18, 1978)

$f_m := 13 \text{ MPa}$   
 $f_t := 6 \text{ MPa}$   
 $f_c := 12 \text{ MPa}$   
 $f_{cT} := 5 \text{ MPa}$   
 $f_{tT} := 0.4 \text{ MPa}$   
 $E := 3300 \text{ MPa}$

"Materiaalille käytetään 1978 RakMK B10 -mukaisia ominaislujuuksia."

## Materiaalin osavarmuuskertoimet:

$k_{mod} := 0.65$  "kmod -arvo riippuu kuormitusyhdistelmästä. Analyysissä käytetty kuormitusyhdistelmä on aikaluokassa "keskipitkä", ja ristikoiden kosteusolosuhteet huomioiden arvoksi valitaan (0.65)."  
 $\gamma_{mt} := 2$  "Vedetyille rakenneosille"  
 $\gamma_{mc} := 3$  "Puristetuille rakenneosille"

**Nurjahduskestävyys (puristuskestävyys)**

Diagonaalien puristusjännitys

$$\sigma_{cad} := \frac{N_{cdia}}{b_{dia} \cdot h_{dia}} = 0.852 \text{ MPa}$$

Nurjahduskerroin

$$L_{ny} := 1 \cdot 2.5 \text{ m} \quad \text{Nurjahduspituus}$$

$$i_y := \frac{h_p}{\sqrt{12}} = 36.084 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{ny}}{i_y} = 69.282$$

-&gt; Kuva 5.3 (1978 RakMK B10)

$$k_{cydia} := 0.55$$

Materiaalin puristuskestävyys

$$f_{c0d} := \frac{f_c \cdot k_{mod}}{\gamma_{mc}} = 2.6 \text{ MPa}$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{cad}}{k_{cydia} \cdot f_{c0d}} = 0.596$$

Yläpaarten puristusjännitys

$$\sigma_{cayp} := \frac{N_{yp}}{b_p \cdot h_p} = 3.936 \text{ MPa}$$

*Yläpaarre on ruoteimien ansiosta tuettu nurjahdusta vastaan, jolloin nurjahduskerroin on 1."*

$$k_{cyyp} := 1 \quad k_s := k_{cyyp}$$

$$\frac{\sigma_{cayp}}{k_{cyyp} \cdot f_{c0d}} = 1.514$$

**Vetokestävyys**

Diagonaalien vetojännitys

$$\sigma_{tdia} := \frac{N_{tdia}}{b_{dia} \cdot h_{dia}} = 0.828 \text{ MPa}$$

Materiaalin vetokestävyys

$$f_{t0d} := \frac{f_t \cdot k_{mod}}{\gamma_{mt}} = 1.95 \text{ MPa}$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{tdia}}{f_{t0d}} = 0.319$$

Yläpaarten vetojännitys

$$\sigma_{tap} := \frac{N_{ap}}{b_p \cdot h_p} = 3.597 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{tap}}{f_{c0d}} = 1.383$$

**Taivutuskestävyys**

Taivutusjännitys

$$e := \frac{b_p}{2} = 37.5 \text{ mm}$$

$$I_p := \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} = (1.221 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$W_y := \frac{I_p}{e} = (3.255 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{bending} := \frac{M_p}{W_y} = 7.434 \text{ MPa}$$

Materiaalin taivutuskestävyys

$$f_{md} := \frac{f_m \cdot k_{mod}}{\gamma_{mt}} = 4.225 \text{ MPa}$$

**Yhdistetty taivutus ja veto -  
mitoitusehto**

Alapaarre:

$$\frac{\sigma_{tap}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{bending}}{f_m} = 2.416$$

**Yhdistetty taivutus ja puristus -  
mitoitusehto**

Yläpaarre

$$\frac{\sigma_{cayp}}{f_{c0d} \cdot k_s} + \frac{\sigma_{bending}}{f_m} = 2.086$$

**Ristikön tukipainekestävyys**

Tehollinen tukiala

$$b_p = 75 \text{ mm}$$

$$l := 75 \text{ mm} \quad (\text{tuennan pituus})$$

$$A_{tuki} := b_p \cdot l = (5.625 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

*"Tukipainekestävyyttä ei tarkastella palkissa, koska palkkirakenteet uusitaan aukoilla. Muualla rakenteissa tehollinen tukipinta-ala on suurempi kuin ristikossa."*

Puristusjännitys syysuuntaa vastaan

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_{tuki}}{A_{tuki}} = 3.742 \text{ MPa}$$

Puristuskestävyys tuella

$$f_{cTd} := \frac{f_{cT} \cdot k_{mod}}{\gamma_{mc}} = 1.083 \text{ MPa}$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{c90d}}{f_{cTd}} = 3.454$$

"Analyysin mukaan rakenneosat vaativat vahvistusta. Kuitenkin eri materiaalin ominaislujuus ei välttämättä pidä jokaisessa tapauksessa paikkaansa, kuten voidaan huomata vertailtaessa eri aikakausien rakentamismääräyksiä. Tämä instanssi pitää selvimmin paikkansa tukipainekestävyyden kohdalla. Tuelle kuitenkin tulee varmuutta vahvistustoimenpiteiden yhteydessä.

Vahvistusmitoitus voidaan suorittaa samoilla kaavoilla kuin rakenneanalyysi. Ero näiden välillä on vain rakenteen poikkipinta-ala. Tämä mitoitustapa lisää varmuutta rakenteelle, mutta on myös yksinkertainen toteuttaa. Tämän pohjalta voidaan valita kattoristikon kylkeen kiinnitettävien materiaalien vahvuudeksi paarteisiin ja diagonaaleihin samankokoiset vahvikkeet minimissään **18x125mm.**"