



Betonijulkisivujen kuntotutkimusprosessi

Valtteri Ilomäki

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

ILOMÄKI, VALTTERI:
Betoniulkisivujen kuntotutkimusprosessi

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 16 sivua
Toukokuu 2023

Tämä opinnäytetyö on tehty yrityksen tilauksesta tavoitteena luoda perusteita yrityksen kuntotutkimustoimintaa varten sekä tutustuttaa opinnäytetyön laatija kuntotutkimuksien sisältöön. Yrityksen nimeä ei mainita tilaavan yrityksen toiveesta.

Opinnäytetyössä selvitetään kuntotutkimuksien oleellisimpien vaiheiden sisältöjä ja laaditaan kuntotutkimusselostepohja, jota tilaajayritys voi hyödyntää kuntotutkimuksien raportoinnissa. Opinnäytetyö on rajattu koskemaan ainoastaan betonisia julkisivurakenteita.

Tavoitteiden täyttämiseksi opinnäytetyössä on selvitetty julkisivurakenteiden vaurioitumistapoja, kuntotutkimuksen suunnittelemista, betonirakenteiden kuntotutkimusmenetelmiä sekä korjaustavan valintaan vaikuttavia seikkoja. Näiden aihealueiden kappaleiden sisältö on pyritty laatimaan hyödynnettäviksi kuntotutkimuksen raportoinnissa.

Opinnäytetyön tulokset koostuvat kuntotutkimuksen vaiheiden sisällöstä sekä kuntotutkimusselostepohjasta, joka on opinnäytetyön liitteenä. Työssä esitetyt kuntotutkimuksen vaiheet noudattavat kuntotutkimusprosessin järjestystä. Kuntotutkimusselostepohjassa on ohjeistettu kuntotutkimuksen raportoinnin eri kohdissa huomioitavia asioita. Opinnäytetyö on hyödynnettävissä yrityksen henkilöstön kuntotutkimustiedon ylläpitämiseen.

Kuntotutkimuksien suorittaminen vaatii kuntotutkijalta rakenteiden vaurioitumismekanismien, aikakauden rakentamistapojen ja rakenteiden staattisen toiminnan hyvää tuntemista. Luotettavan kuntotutkimuksen suorittaminen vaatii kuntotutkijalta teorian hallitsemisen lisäksi osaamista näytteiden ottamisessa sekä niiden tulkitsemista kenttäolosuhteissa.

Jatkossa tätä opinnäytetyötä voisi täydentää toteutuneiden kuntotutkimuksien perusteella. Opinnäytetyötä ja käytännön kokemuksia yhdistämällä, voisi yrityksen sisäistä toimintatapaa kehittää edelleen rakenteiden kuntotutkimuksissa.

ABSTRACT

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

ILOMÄKI, VALTTERI:
Condition Survey Process of Concrete Facades

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 16 pages
May 2023

The objective of this study was to collect information regarding condition surveys of concrete facades for a company use. The name of the company is not published at the request of the company.

The research was carried out by studying the literature. The research mainly used the publications of Concrete Association of Finland and Julkisivuyhdistys ry.

As an outcome of the study, this thesis consists of the steps of a condition survey and a reporting template for the results. The main steps of the study are planning of the condition survey, condition survey methods, and an analysis of the taken samples. The thesis also includes guidelines for choosing the repair method of a facade structure.

The results of this study indicate that the condition inspector must be familiar with the stress and damage methods of structures. The key aspect for reliable results of a survey is the performer's expertise to interpret the survey results in each phase of the condition survey. Reliable results lead to affordable methods of repair of concrete facades.

Key words: condition survey, concrete facade

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	Kuntotutkimuksen vaiheet.....	7
2.1	Kuntotutkimusmetodi.....	9
3	Betonijulkisivujen yleisimmät vauriot.....	10
4	Kuntotutkimuksen suunnittelu	13
4.1	Lähtötiedot	14
4.2	Tutkimussuunnitelma	16
4.2.1	Näytemäärien suunnittelu.....	17
5	Kuntotutkimus	21
5.1	Kuntotutkimusmenetelmät.....	22
5.2	Näytteenotto.....	27
5.3	Näytteiden laboratoriotutkimukset	29
6	Kuntotutkimuksen näytteiden analysointi	31
6.1	Näytteiden analysointi	32
6.2	Tutkimustulosten analysointi ja korjaustapasuositukset	35
7	Kuntotutkimuksen raportointi	38
8	POHDINTA	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	42
	Liite 1. Kuntotutkimusselostepohja	42

TERMIT

Kuntoarvio selvittää rakenteiden teknistä toimivuutta rakenteita rikkomatta.

Kuntotutkimus selvittää rakenteiden kuntoa mittauksin ja tutkimuksin.

Tutkimusmenetelmät ovat usein rakenteita rikkovia.

Poraliöinäyte on betonirakenteiden kuntotutkimuksissa timanttiporalla irrotettava rakennenäyte.

Ansas Ansaat ovat metallirakenteita, joita käytetään sitomaan sandwich-elementtien sisä- ja ulkokuoret toisiinsa kuorien välissä sijaitsevan lämmöneristeen läpi.

1 JOHDANTO

Rakennuksen kuntotutkimus selvittää rakenteiden kuntoa mittauksin ja tutkimuksin. Kuntotutkimuksen näytteenotto on usein rakenteita rikkovaa. Kuntotutkimuksen avulla luodaan tietoa kunnossapitosuunnitelmaa, korjaustyöntarkastamista, korjaustavan valintaa tai kantavuuden arviointia varten. Kuntotutkimuksen tilaaja määrittää kuntotutkimuksen tavoitteen tarjouspyynnössä.

Tämä opinnäytetyö on tehty yrityksen toimeksiannosta tavoitteena luoda perusteita yrityksen kuntotutkimustoimintaa varten sekä tutustuttaa opinnäytetyön laatija kuntotutkimuksien sisältöön. Opinnäytetyön työtavaksi valikoitui kirjallisuustutkimus, jonka tavoitteeksi muodostui selvittää kuntotutkimuksen eri vaiheita.

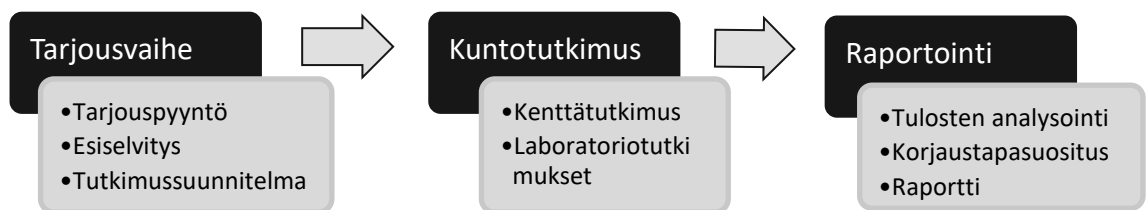
Tässä työssä tavoitteet saavutetaan käsittelemällä kuntotutkimuksen eniten työtä vaativia osuuksia, joita ovat kuntotutkimuksen suunnitteleminen, kuntotutkimus, tutkimustulosten analysointi ja korjaustavan valinta sekä raportointi. Raportointia on käsitelty työn tekstiosuuden lisäksi luomalla kuntotutkimusselosteen pohja yrityksen käyttöön.

Työtä on rajattu käsittelemään betonisia julkisivurakenteita kuten ulkoseinäelementtejä ja parvekerakenteita. Työssä ei oteta kantaa muurattujen ja rapattujen julkisivujen kuntotutkimukseen.

2 Kuntotutkimuksen vaiheet

Kuntotutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa kohteen ylläpitoa varten, tarkastella julkisivun korjaustyön laatua tai selvittää rakenteiden kuntoa julkisivun korjaustavan valintaa varten. Kuntotutkimuksen tavoite toteutetaan selvittämällä rakenteiden tilaa tuottamalla tietoa rakenteiden sisäisistä vaurioista sekä rakenteiden materiaalien kestävydestä, selvittämällä ympäristön ja toimivuuspuutteiden aiheuttamien vaurioiden syitä, laajuuksia ja laajenemista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 5.)

Kuntotutkimus voidaan tilaajan sekä kuntotutkimuksen tekijän näkökulmasta jakaa kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat alustava tilannearvio, varsinaiset tutkimukset ja tulosten analysointi ja raportointi. Kuvaan 1 on koostettu Suomen Betoniyhdistyksen (2014, 8) esittämät kuntotutkimuksen vaiheet ja niiden sisällöt tiivistetysti.



Kuva 1: Kuntotutkimuksen vaiheet

Tarjousvaiheen tavoitteena on antaa tarjous kuntotutkimuksen suorittamisesta tilaajan toimittamien lähtötietoaineistojen sekä kuntotutkijan kohdekäynnin perusteella.

Lähtötietojen avulla tehdään kohteesta alustava tilannearvio, jossa selvitetään julkisivun rakennesysteemi sekä arvioidaan julkisivurakenteen kunto sekä sen alustavat korjausmahdollisuudet. Näiden tietojen avulla arvioidaan mitä asioita on syytä tutkia ja mitä tutkimusmenetelmiä näissä olisi tarpeen käyttää.

Tutkimustarpeita arvioimalla muodostetaan lähtötieto kuntotutkimuksen työsuunnitelmaa varten. Tutkimuksen tilaaja vertaa tarjouksen antaneita kuntotutkijoita mm. työsuunnitelman perusteella, johon kuntotutkimuksen suorittaja sitoutuu. Joissakin tapauksissa kuntotutkimussopimus tehdään urakkatarjouksen sijaan tuntiveloitussopimuksena. (Hietakangas, 2023.)

Kuntotutkimusvaihe sisältää kenttätutkimuksia, näytteidenottoa sekä laboratoriotutkimuksia. Kuntotutkimukselle ei voida määrittää kaikille kohteille soveltuvaa toteutustapaa, koska sisältö vaihtelee mm. kohteen iän, rakennetyyppien ja rakennedetaljien mukaan. Järkevänä kuntotutkimusmetodina pidetään tarkentuvaa tutkimustapaa, jolloin kalleimpia tutkimusmenetelmiä on mahdollista kohdistaa kustannustehokkaasti. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 57.)

Tutkimustuloksia analysoimalla ja yhdistämällä luodaan kuntotutkimusraportti, jossa käsitellään julkisivurakenteiden vallitsevaa tilaa ja sen korjausta, korjauksen kiireellisyyttä sekä käsitystä vaurioitumisen etenemisestä, mikäli rakennetta ei korjata. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 9.)

Kuntotutkimuksen tarjousvaiheen kesto on noin yksi kuukausi. Kuntotutkijan suorittaman kuntotutkimuksen kesto on noin kaksi kuukautta. Kenttätutkimuksien näytteiden analysointiin ja kuntotutkimuksen raportointi kestää kaksi–kolme kuukautta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 6.)

2.1 Kuntotutkimusmetodi

Kuntotutkimuksen tulisi edetä tarkentuen, jolloin ensin käytetään laajoja ja edullisia tutkimusmenetelmiä, jonka jälkeen vasta siirrytään tarkempiin ja kalliimpiin menetelmiin. Tätä pidetään resurssitehokkaana tutkimusmetodina. Rakenteiden vaurioita tutkitaan vauriotapakohtaisesti jokaisesta rakenne- tai elementtityypistä erikseen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 59.)

Vauriotapojen ja toimivuuspuutteiden merkitystä käytettävyydelle tulee pohtia jo lähtötietoja tarkasteltaessa. Arvioinnin perustana voidaan pitää seuraavaa Suomen Betoniyhdistyksen (2019, 59) esittämää luokitusta:

Luokka 1: turvallisuuden ja terveellisyyteen vaikuttavat seikat:

- rakenneosien kantavuus ja kiinnitysvarmuus
- rakenteiden kosteustekninen toimivuus silloin, kun vesivuodot voivat aiheuttaa kosteusvaurioita ja terveyshaittoja huonetiloissa
- rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa esiintyvät, terveydelle tai ympäristölle vaaralliset aineet

Luokka 2: korjausmenetelmän valintaan ja vaurioiden etenemiseen vaikuttavat seikat:

- betonin pakkasenkestävyys ja rapautumistilanne
- raudotteiden korroosiovaurioiden syy, laajuus ja laajeneminen tulevaisuudessa
- kosteustekninen toimivuus silloin, kun sillä on merkittävä vaikutus vaurioiden etenemiseen

Luokka 3: Muut seikat:

- maalien ja pinnoitteiden kunto
- esteettinen kunto
- rakennushistorian selvittäminen

3 Betonijulkisivujen yleisimmät vauriot

Julkisivurakenteita rasittaa säteily, lämpö, kosteus, erilaiset haitta-aineet, tuuli- ja pakkasrasitus. Rasituksien voimakkuuteen vaikuttaa rakennuksen sijainti, ympäristö, korkeus, ilmansuunnat ja rakenteiden yksityiskohdat. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 15.)

Tässä kappaleessa tarkastellaan lyhyesti vaurioitumistapoja, joita on avattu laajemmin Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2019 -kirjassa.

Kosteusrasitus

Betonisten julkisivurakenteiden yleisin vauriontekijä on kosteusrasitus. Suomessa tuulen suunta on keskittynyttä vesi- ja räntäsateiden aikana, mikä johtaa kaakon ja lännen suunnalle osuvien julkisivurakenteiden korkeampaan rasitustasoon. Suurin kosteusrasitus julkisivulle syntyy viistosateesta, jonka merkittävin rasitusvaikutus on seinien yläosissa räystäättömissä, avoimilla paikoilla sijaitsevissa ja korkeissa rakennuksissa. Parvekerakenteissa kosteusrasitus on voimakkaampaa, koska kosteus ei pääse kuivumaan lämpövirran ansiosta, kuten ulkoseinäelementeissä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 15–17.)

Korroosio

Betonin suojaaman raudoituksen korroosio alkaa tavallisesti betonin karbonatisoitumisen tai betonissa olevien tai sinne päässeiden kloridien takia. Korroosiossa olevasta raudoituksesta liukenee materiaalia, mikä pienentää raudoituksen poikkileikkausta ja heikentää raudoituksen tartuntaa. Korroosiovaurioitunut raudoitus vaatii raudoitteen alkuperäistä pinta-alaa suuremman tilan, mikä aiheuttaa halkeilua ja lohkeamisvaurioita betoniin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 17.)

Betonin rapautuminen

Betonin rapautuminen voi johtua pakkasrapautumisesta, ettringiittireaktiosta tai alkalikiviainesreaktiosta. Näistä pakkasrapautuminen on yleisin rapautumisen syy Suomen olosuhteissa. Kaikkia rapautumistapoja yhdistää ilmiöiden vaatima korkea kosteusrasitus.

Pakkasrapautuminen syntyy betonin huokosverkostossa sijaitsevan veden jäätyä aiheuttamasta paineesta. Pakkasestävssä betonissa huokosverkosto muodostuu oikean kokoisista huokosista. Huokosten välimatka tulee olla riittävän pieni, jotta rakenteessa oleva jäätyvä vesi pääsee laajenemaan vapaasti huokosten välillä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 14.)

Kannatusten vauriot

Julkisivurakenteiden kiinnitysten ja kannatusten vauriot johtuvat pääosin betonin rapautumisesta tai raudoitteiden korroosiosta. Vauriot voivat johtua myös työteknisistä virheistä kuten liian pienistä betonipeitepaksuuksista tai väärin materiaalien käytöstä, kuten ruostuvan teräksen käytöstä ansarakenteissa.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 33–34.)

Kosteustekniset toimivuuspuutteet

Rakenteen sisältä tai ulkoa suuntautuva kosteusrasitus edesauttaa korroosion ja rapautumisen etenemistä. Kosteusteknisiä toimivuuspuutteita on liitosten heikko tiiviys, betonin pintakäsittelyn epäyhtenäisyys sekä eristetilän puutteellinen vedenpoisto ja tuuletus. Parvekkeiden kohdalla kosteusteknisiä puutteita ovat laatan puutteellinen vedeneristys, riittämätön kallistus ja vedenpoistojärjestely sekä liittymät muihin rakenteisiin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 33.)

Pintamateriaalien ja -käsittelyiden vauriot

Pintatarvikkeiden kiinnitysvaurioita aiheuttaa materiaalien välinen lämpöliike, kiinnitysalusta pakkasrapautuminen ja korroosion aiheuttama raudoituksen laajeneminen.

Pinnoitteiden tyypillisin vaurioitumistapa on pinnoitteen tartunnan pettäminen, joka voi johtua betonista poistuvan kosteuden takia, pinnoitteen heikosta tartunnasta alustaan ja joskus pinnoitteen pakkasestävyydestä. Vaurio voi johtua myös työvirheestä tai maalipinnan luonnollisesta kulumisesta.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 34–37.)

Halkeilu ja muodonmuutokset

Halkeamat heikentävät rakenteen säilyvyysominaisuuksia rikkomalla raudoituksen suojakerrosta, mikä sallii kloridien ja karbonatisoitumisen pääsyn raudoitukseen. Halkeamat voivat johtua rakenteen sisäisistä tai ulkoisista

kuormituksista. Sisäisiä kuormituksia ovat betonin plastisenvaiheen ja kovettumisvaiheen kutistumat, betonin kuivumiskutistuma ja betonin kutistumaerot rakenteessa. Ulkoisia kuormituksia ovat tukien siirtymät, lämpötila, pakkasrapautuminen ja korroosio. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 38.)

Aiemmat korjaukset

Julkisivurakenteissa suoritettavat aiemmat korjaukset voivat aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista. Pinnoituskorjauksen liian tiiviit materiaalit voivat estää julkisivurakenteen kuivumista ja näin nostaa rakenteen kosteusrasitusta tai virheellisesti tehdyt pellitykset voivat ohjata veden rakenteiden sisään. Korjausten elinkaari tulee myös huomioida, sillä kevyiden pinnoituskorjauksien elinkaari voi rajoittua vain 10 vuoteen. Joissakin tilanteissa korjaukset voivat aiheuttaa kuormien lisääntymistä rakenteelle, kuten ruiskubetonoinnin painonlisäys. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 40.)

Vaaralliset aineet

Asbesti on pitkäkuituista mineraalia, jota on käytetty julkisivuissa kestävyyttä parantavana kuituna alkydisideaineisissa pinnoitteissa ja levytuotteissa. Haitallisia asbestikuituja pääsee leviämään ympäristöön pölyävissä työvaiheissa. Homeet ovat mikrosieniin kuuluvia pieneliöitä, jotka kasvattavat soluketjuista rihmastoja. Mikrobikasvustoja voi esiintyä julkisivurakenteen lämmöneristeen ulkopinnassa, mikä johtuu poikkeuksellisen korkeasta kosteusrasituksesta. On mahdollista, että mikrobikasvustojen itiöt ja aineenvaihduntatuotteet kulkeutuvat asunnon sisälle ilmajohdotuksien mukana rakenteiden epäjätkuvuuskohtista.

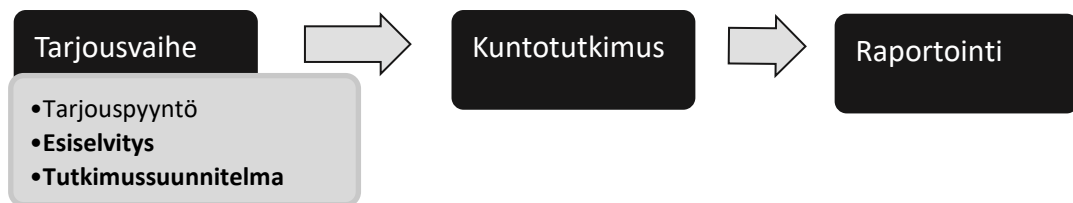
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet ovat ilman epäpuhtauksina monimutkaisia seoksia, jotka aiheuttavat hajuhaitan lisäksi syöpää. Yhdisteitä on lähinnä vanhoissa vedeneristeenä käytetyissä bitumi- ja kivihiilitervapohjaisissa tuotteissa.

Polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet ovat ympäristömyrkkyjä, joiden pitkäaikaisvaikutus ihmisen terveydelle on huomattavaa. PCB-yhdisteitä ja lyijyä on käytetty elementtien saumamassoissa ja niiden haittavaikutus terveydelle nousee esiin pölyävissä töissä kuten hionnassa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 39–40.)

4 Kuntotutkimuksen suunnittelu

Kuntotutkimuksen suunnittelu sisältyy kuntotutkimusprosessin tarjousvaiheeseen, jossa tavoitteena on tuottaa kuntotutkimussuunnitelma tilaajan toimittamien asiakirjojen ja silmämääräisen kartoituksen perusteella.

Mikäli tilaajan tavoitteena on suorittaa laajempi ja perusteellisempi esiselvitysvaihe esimerkiksi kohteen laajuuden takia, sovitaan tästä erillispalkkio. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 56.)



Kuva 2: Kuntotutkimuksen vaihteet tarjousvaiheessa.

Esiselvitysvaiheen tavoitteena on selvittää kohteen tutkimustarvetta lähtötietoja kartoittamalla. Perusteellisesti tehty esiselvitys ohjaa tarkempaan arvioon kuntotutkimuksen lopullisesta sisällöstä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 63.)

4.1 Lähtötiedot

Kuntotutkimussuunnitelman lähtötietoina käytetään julkisivu-, rakenne- ja elementtipiirustuksia sekä rakennuksen muita asiakirjoja, mitkä tutkimuksen tilaaja lähettää tarjouspyynnön mukana. Lähtötietoja kerätään lisäksi silmämääräisellä kartoituksella kohdekäynnin aikana.

Lopuksi tietojen avulla muodostetaan kuntotutkimussuunnitelmaa varten käsitys kohteen rakenteiden statiikasta, rakenteiden toimivuudesta sekä niiden tyypillisimmistä ongelmista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 63.)

Suunnittelupiirustuksien avulla selvitetään kohteen rakenteiden rakennetyypit, staattinen toiminta, ongelmakohdat ja toimivuuspuutteet. Tarjousvaiheessa rakenteen vaurioalttiutta arvioidaan Suomen Betoniyhdistyksen (2019, 63) esittämillä tavoilla rakenteen ominaisuuksia ja rasitustapoja huomioimalla (taulukko 1).

Taulukko 1. Vaurioalttiuden arviointi.

Rakenteen ominaisuudet	Rakenteen rasitustapa
rakennetyyppi	kosteusrasitus (sisältä tai ulkoapäin)
rakenneyksityiskohdat	pakkasrasitus
rakenteen materiaali	kuivumismahdollisuudet
pintamateriaali	muodonmuutokset

Suunnitelmien oikeellisuutta on pyrittävä arvioimaan selvitystyön aikana sillä asiakirjojen rakenneratkaisut eivät välttämättä vastaa kohteen toteutuneita rakenneratkaisuja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 63–64.)

Kohdekäynnillä suoritetaan silmämääräinen kartoitus kohteesta sekä katselmus ympäristöstä kuntotutkimuksen toteuttamista varten.

Katselmuksessa selvitetään kohteen ympäristön ominaispiirteitä kuntotutkimussuunnitelmaa ja sen käytännön toteutusta varten. Näiden perusteella valitaan kuntotutkimuksessa käytettävä nostokorikalusto ja varmistetaan, että suunniteltavat näytteet on mahdollista ottaa kustannustehokkaasti.

Silmämääräisen kartoituksen avulla suoritetaan täsmentäviä huomioita lähtötietojen tueksi ja näin täsmennetään tutkimustarvetta. Tutkimustarvetta

arvioidaan rakenteiden näkyvien vaurioiden määrän perusteella ja niiden merkityksellä rakenteen korjaamiselle ja vaurion laajenemiselle. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 64.)

Näkyvien vaurioiden vaikutusta näytemäärien määrittämiseen on käsitelty kohdassa 4.2.1 Näytemäärien suunnittelu.

Taulukkoon 2 on kerätty Suomen Betoniyhdistyksen (2019, 63) esittämiä kohdekäynnillä havainnoitavia kohtia.

Taulukko 2. Kohdekäynnillä havainnoitavat asiat

Silmämääräinen kartoitus	Ympäristön katselmus
lähtötietoja tukeva havainnointi	käytettävät kulkureitit
rakenteiden kunto	ympäröivä liikenne
toiminnalliset puutteet	maapohjan kantavuus
rakenteiden erityiset rasitustavat	mahdolliset esteet
eri julkisivujen rasitukset	maaston muodot

4.2 Tutkimussuunnitelma

Tutkimussuunnitelma laaditaan esiselvitysvaiheen lähtötietojen ja tilaajan asettamien tavoitteiden perusteella. Tutkimussuunnitelman tavoitteena on tuottaa kenttätutkimussuunnitelma, näytteenottosuunnitelma sekä suunnitelma tarvittavista laboratoriokeista.

Tavoite täytetään arvioimalla rakenteiden vauriotapoja ja toimivuuspuutteita, joiden perusteella valitaan havainnoitavat ja mitattavat suureet.

Mitattavien suureiden ja käytössä olevien resurssien perusteella valitaan käytettävät mittausmenetelmät ja otoskoot. Tavoiteltavaa on käyttää tutkimusmenetelmiä taloudellisesti tehokkaasti. Tutkimusmenetelmiä on käsitelty tarkemmin kohdassa 5.1 Kuntotutkimusmenetelmät.

Kuntotutkimuksessa ei ole tarkoituksenmukaista ottaa kantaa pieniin tai itsestään selviin asioihin, koska kuntotutkimuksen perusteella tehdään korjaussuunnittelu ennen varsinaista korjaustyötä.

Lopullinen tutkimuksen sisältö tarkentuu kuntotutkimusvaiheessa, sillä tutkimuksien edetessä voi nousta esille laajemmin ja perusteellisemmin tutkittavia asioita.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 64–65.)

Useammasta rakennuksesta koostuvien kuntotutkimuskohteiden rasisolosuhteissa ja vaurioalttiudessa voi olla suuria eroja, mikäli kuntotutkimuksen tulos luodaan vain yhden kohteen rakennuksen perusteella. Tällöin voi valittavista korjauksista tulla huomattavan ali- tai ylimitoitettuja. Erillisten rakennusten kuntotutkimus on tavallisesti tehtävä erillisin näytemäärin, eikä kuntotutkimuksien johtopäätöksiä voida yhdistellä.

Mikäli kuntotutkijalla on riittävä varmuus rakennusten rakenteiden ja rasisolosuhteiden yhdistävistä tekijöistä, voidaan yksi tutkimuskohteista tutkia täydellä otoskolla ja loput rakennuksista suppeammalla otoskolla. Tässä menettelyssä tulee huomioida, että suppeammin suoritetuissa tutkimuksissa näytemääriä tulee kasvattaa välittömästi, mikäli tutkimuksien edetessä huomataan rakennuksien välisiä poikkeavuuksia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 60.)

Turmeltumis- ja vaurioitumisilmiöiden eteneminen rakenteessa riippuu julkisivurakenteen materiaalista, valmistustavasta sekä sen ominaisuuksista.

Tästä syystä kuntotutkimus tulee kohdentaa jokaiselle eriävälle rakenne- ja elementtityypeille erikseen. Otokokoa tulee lisäksi kasvattaa koskemaan myös erityyppisiä pintamateriaaleja, koska vaurioalttius ja vaurioiden eteneminen vaihtelee rakenteen ominaisuuksien mukaan. Tämän takia näytemäärät ja tutkimuksen kustannukset nousevat herkästi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 60.)

4.2.1 Näytemäärien suunnittelu

Kuntotutkimuksessa otettavien näytteiden perusteella tehtävät analyysit perustuvat yksittäisiin tuloksiin tai laajasta otannasta tehtävään tilastolliseen tarkasteluun. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 75.)

Vaurioiden laajuuden tarkastelu vaatii näytemäärien riittävän hajautuksen julkisivurakenteen kohdistuvan rasituksen ja siinä esiintyvien vaurioiden mukaan. Jotta julkisivurakenteiden välisiä eroavaisuuksia voidaan verrata luotettavasti, tulee näytteiden määrät olla tilastollisesti riittäviä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 61.)

Alkuvaiheessa olevaa vaurioitumista tutkittaessa näytemäärien tulee olla kattavia, jotta tutkittavaa vauriota voidaan tarkastella tilastollista menetelmää käyttäen. Korjaustarpeen määrittämiseksi ei ole välttämätöntä ottaa näytteitä, mikäli tutkittavat kohteen vauriot ovat jo silmin havaittavissa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 61.)

Näytemäärään vaikuttaa myös kuntotutkimuksen tarkoitus. Rakenteiden kantavuutta tutkittaessa näytemäärät ovat suurempia luotettavan pohjan saamiseksi kantavuuslaskelmia varten. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 14.)

Taulukossa 3 esitetään Suomen Betoniyhdistyksen (2014, 14) mukaisesti kuntotutkimuksen tavoitteen vaikutusta valittavaan näytemäärään.

Lisäksi kuntotutkimusten kantavuustarkasteluiden yhteydessä tulee huomioida Valtioneuvoston asetus 215/2015 (VNA, luku 3), jonka mukaan rakenteen kantavuustarkastelun tulee suorittaa tarkasteltavan rakenteen vaatimusluokan mukainen rakennesuunnittelija.

Taulukko 3. Kuntotutkimuksen näytemäärät.

Kuntotutkimuksen tavoite	Kuntotutkimuksen näytemäärä
kunnossapitosuunnitelma korjaustyön tarkastaminen	tilaajan ohje 2014 mukainen
korjaustavan valinta	vähintään 50 % laajempi kuin tilaajan ohje 2014
kantavuuden arviointi	laajempi kuin tilaajan ohje 2014 ja kohdistettu tutkittavaan rakenteeseen

Näytteiden vähimmäismäärä määritellään Suomen Betoniyhdistyksen Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus 2014 tilaajanohje -julkaisussa. Ohjeen antama näytemäärä vastaa tyypillisen 60–80-luvuilla rakennetun kerrostalon kuntotutkimus poranäytteiden minimimäärää. Tilanteessa, jossa rakennuksen julkisivuja ei ole vielä oleellisesti korjattu tai muutettu.

Luotettavuuden ja taloudellisuuden suhteen laskentatavan näytemäärä on kompromissi, joka antaa suppeamman kuvan julkisivurakenteiden tilasta, kuin laaja kuntotutkimus. Vähimmäisnäytemäärällä toteutettuja kuntotutkimuksia voidaan käyttää rakennuksen pitkän tähtäimen suunnitelman tukena.

Tavallisesta poikkeavissa kohteissa, tai kun kuntotutkimusta käytetään korjaussuunnittelun lähtötietona, tulee näytemääriä kasvattaa vähintään 50 %. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 14.)

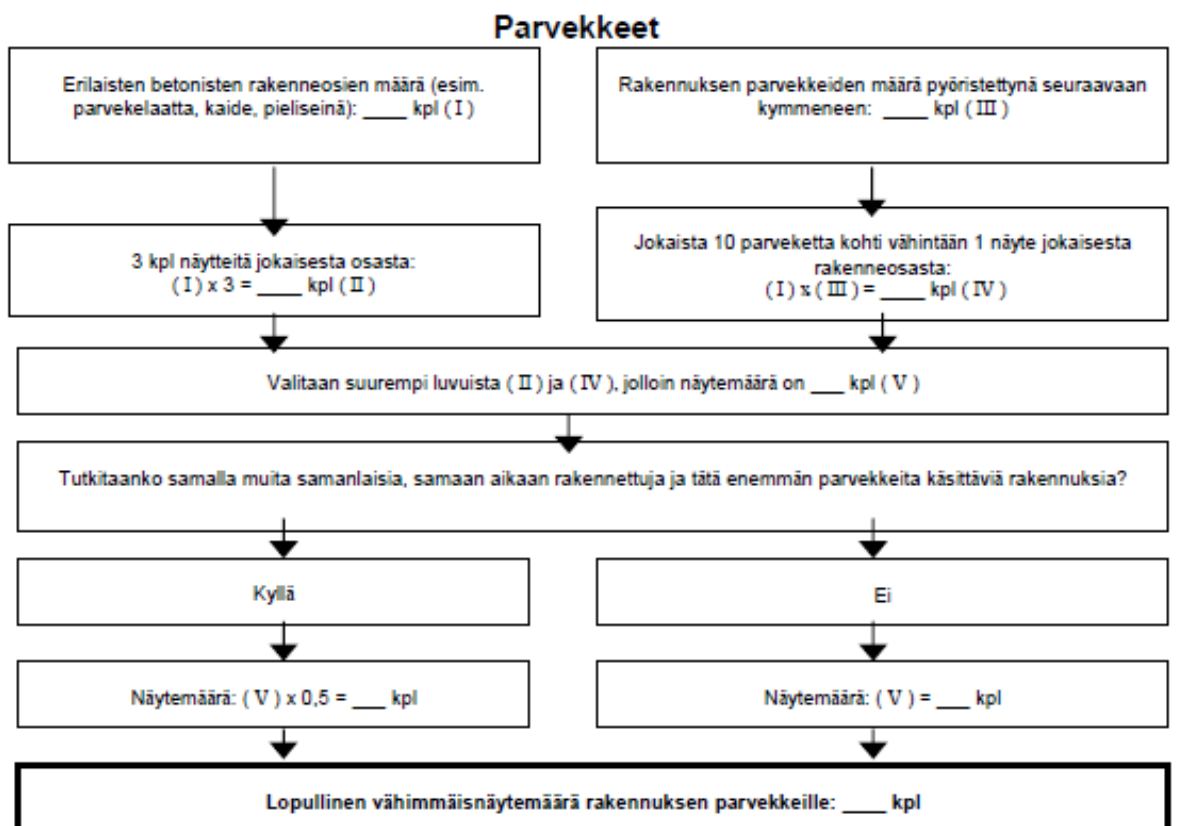
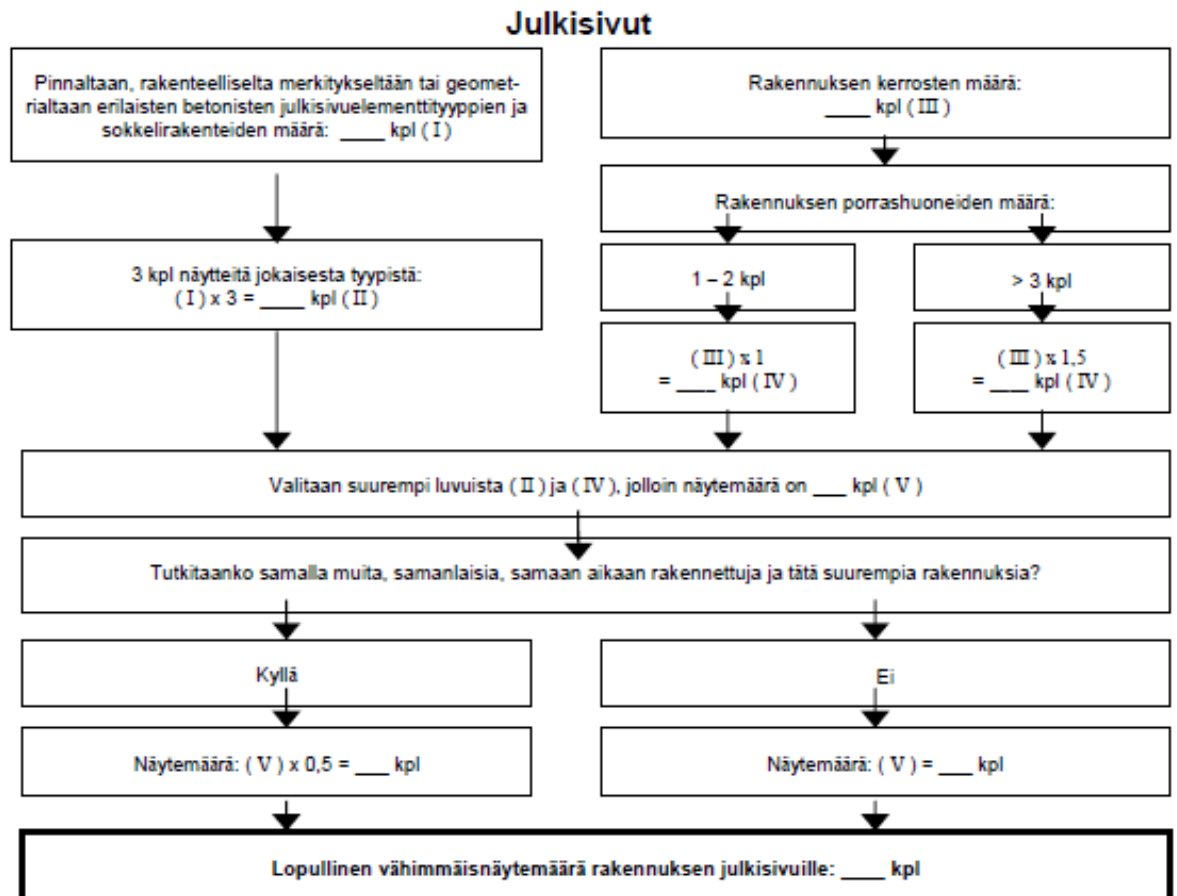
Suunniteltavien poralieriönäytteiden vähimmäismäärä määritetään kahdella eri tavalla ja näistä arvoista suurempi valitaan näytteiden vähimmäismääräksi.

Ensimmäinen tapa perustuu erilaisten rakenne- ja elementtityyppien lukumäärään. Jokaista erilaista rakenne- tai julkisivuelementtiä kohden otetaan vähintään kolme näytettä. Tähän lukeutuu myös parvekkeiden eri rakenteet, kuten pielet, laatat ja kaiteet.

Toisella menetelmällä näytemäärä lasketaan vastaamaan rakennuksen jokaista kerrosta ja mikäli rakennuksessa on kolme tai useampi rappu, otetaan näytteitä 1½ kertaa rakennuksen kerrosmäärä. Lisäksi parvekkeista tulee ottaa näyte vähintään jokaista kymmentä parvekettä kohden. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 14.)

Useamman rakennuksen kuntotutkimuskohteissa voidaan muissa rakennuksissa näytemäärää vähentää 50 % suurimman rakennuksen näytemäärän pysyessä lasketun kaavan mukaisena. Tämä kuitenkin edellyttää, että rakennuksien julkisivut ovat materiaaleiltaan, rakennustavaltaan ja rakennetyypeiltään toisiaan vastaavia. Mikäli tutkimuksissa huomataan poikkeavuuksia rakennuksien välillä, tulee näytemääriä kasvattaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 14.)

Kuvassa 3 on Suomen Betoniyhdistyksen ry (2014, 13) esittämä vuokaavio, joka havainnollistaa otettavien näytteiden vähimmäismäärää.

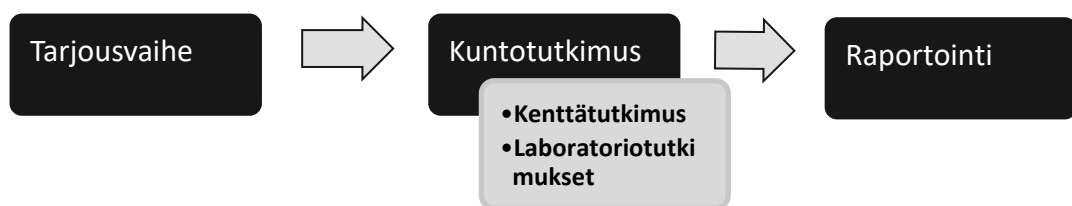


KUVA 3. Näytemäärien valinta (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 13).

5 Kuntotutkimus

Kuntotutkimuksen kenttätutkimukset tehdään nostokoriauton korista. Kenttätutkimukseen sisältyy näytteenoton yhteydessä tehtävä silmämääräinen tarkastus, joka tehdään selvästi tarkemmin mitä esiselvitysvaiheessa tehty tarkastus. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 65.)

Kuntotutkimuksen tavoitteena on muodostaa käsitys rakenteiden mahdollisista vaurioista sekä toimivuuspuutteista. Näiden perusteella kuntotutkija selvittää vaurioiden tilaa, etenemistä, syitä ja vaikutuksia esittäviä tietoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 83).



Kuva 4. Kuntotutkimuksen tutkimusvaiheen sisältö.

Seuraavissa kappaleissa selvitetään yleisimpiä julkisivurakenteiden tutkimisessa käytettyjä kuntotutkimusmenetelmiä, näytteenottoa ja laboratoriotutkimusmenetelmiä.

5.1 Kuntotutkimusmenetelmät

Raudoitteiden korrosio

Raudoitusten korrosioaurioiden korjaustavan valintaa varten tulee selvittää korrosioaurioiden laajuus ja laajeneminen tulevaisuudessa sekä arvioida vaurioiden vaikutusta rakenteen toimintaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 65)

Korrosioaurion laajuutta tutkitaan mm. kartoittamalla karbonatisoitumissyvyysiksiä, mittaamalla betonin kloridipitoisuutta ja kartoittamalla betonipeitteen paksuuksia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 66)

Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen tehdään poralieriönäytteen pinnalta fenoliftaleiiniliuoksen avulla välittömästi näytteen ottamisen jälkeen tai myöhemmässä vaiheessa lieriön lohkotulta pinnalta.

Raudoitteiden betonipeitteen paksuus mitataan peitepaksuusmittarilla satunnaisotantana elementtien neljänneksistä. Peitepaksuuden mittaaminen tulee tehdä eri korkeuksilla mittausvälin ollessa 150...200 mm välillä.

Betonin kloridipitoisuutta tutkitaan porajauhenäytteellä. Mikäli betoni sisältää klorideja voidaan niiden alkuperää arvioida kloridiprofiilin avulla, joka otetaan porajauhenäytteenä eri syvyyksiltä betonirakenteesta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 83–88.)

Betonin rapautuminen

Betonin rapautumista tutkitaan selvittämällä betonin pakkasenkestävyyttä sekä pakkasrapautuneisuutta. Pakkaskestävyyttä tutkitaan laboratoriossa tehtävillä mikrorakennetutkimuksilla. Pakkasrapautuman laajuutta tutkitaan mikrorakennetutkimuksia tukevalla vasaroinnilla ja vetokokeilla sekä silmämääräisellä tarkastelulla. Taulukossa 4 Suomen Betoniyhdistys arvioi erilaisten rapautumisen tutkimusmenetelmien käyttökelpoisuutta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 67–68.)

Kenttätutkimuksen aikana tehdään havaintoja pakkasrapautumasta, jonka perusteella ohjataan näytteenottoa rapautumavaurioiden laajuuden selvittämiseksi sekä näytteenoton tehokkaaksi kohdentamiseksi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 114.)

Rapautuminen aiheuttaa betoniin mikrohalkeamia, jotka alentavat betonin lujuutta. Betonin vetolujuutta mittaamalla voidaan arvioida mikrohalkeamien aiheuttamaa lujuuden heikentymistä. Vetolujuuden mittaaminen voidaan tehdä kentällä ehjistä julkisivurakenteesta tai laboratorioissa poranäytelieriötä koestamalla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 92.)

Rapautumisen aiheuttamaa rakenteen tiiveyden menettämistä voidaan tarkastella vasaroimalla pintarakennetta raskaalla vasaralla. Rapautuneen rakenteen erottaa vauriottomasta rakenteesta vaimeamman äänen ja vasaran heikomman kimpoamisen perusteella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 89.)

TAULUKKO 4. Rapautumisen tutkimisen menetelmät (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 68)

Tutkimusmenetelmä	Silmämääräinen tarkastelu kohteella	Vasarointi	Poralieriöiden silmämääräinen tarkastelu	Vetokoe	Mikrorakennetutkimus
Todettavissa oleva rapautumisaste	hyvin pitkälle edennyt rapautuminen	pitkälle edennyt rapautuminen	pitkälle edennyt rapautuminen	alkuvaiheessa oleva rapautuminen	hyvin alkuvaiheessa oleva rapautuminen
Edustavuus	laaja	melko laaja	pistemäinen	pistemäinen	pistemäinen
Luotettavuus	huono	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	erittäin suuri
Tarvittava työmäärä	vähäinen	kohtalainen	suuri	suuri	erittäin suuri
Kustannus	erittäin halpa	halpa	halpa (näytteet muita tutkimuksia varten)	kohtalainen	kallis

Kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen vauriot

Rakenteiden kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen vaurioiden tutkiminen kuuluu kuntotutkimuksen tärkeimpiin selvityksiin. Jotta kantavien rakenteellisten osien kuntoa voidaan arvioida, tulee kuntotutkijan ymmärtää osan toiminnan periaate sekä osan lujuusmitoitus.

Kiinnikkeiden vaurioitumisastetta voidaan arvioida poralieriönäytteen rei'istä tai erillisillä rakenneavauksilla. Eristetilan läpikulkevan korroosiovaurioituneen raudoituksen korroosiovaraa voidaan arvioida laskemalla jäljellä olevan raudoituksen kapasiteetti. Rakenneosan teräslaatu voidaan arvioida

silmämääräisesti tai magneetilla, koska ansasmateriaalina käytetty ruostumaton teräs on selvästi antimagneettista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 95.)

Taulukkoon 5 on koostettu Suomen Betoniyhdistys ry (2019, 69–70) esittämiä kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen tutkimisessa käytettäviä tutkimusmenetelmiä.

Kiinnikkeen tyyppiä ja niiden kuntoa voidaan arvioida silmämääräisesti rakenteeseen tehtävästä rakenneavauksesta. Rakenteiden avaaminen voi heikentää rakenneosan lujuutta tai kiinnittymistä muihin rakenteisiin. Rakenneavauksia tulee tehdä vaurioituneimmista kohdista ja niitä tulee tehdä riittävästi, jotta voidaan varmistua kiinnikkeiden kunnosta. Vähimmäismääränä voidaan pitää 3...5 rakenneavausta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 95.)

Taulukko 5. Kiinnikkeiden kuntotutkimismenetelmiä eri tavoilla.

Suunnitteluasiakirjat	Havainnot	Kenttätutkimukset
kiinnityksen tyyppi	siirtymät	rakenneavaus
käytetyt materiaalit	kallistumat	karbonatisoituneisuus
kiinnikkeiden lukumäärät	halkeamat	betonipeitepaksuus
kiinnikekohtainen rasitus	kaareutumät	lämpökamerakuvaus
työvirheiden mahdollisuus	hammastukset	koekuormitus

Suunnitteluasiakirjat eivät läheskään aina pidä paikkaansa kiinnitys-, kannatus- ja sidontatapojen toteutusta. Siksi rakenteessa käytetyt ratkaisut on suositeltavaa varmistaa kuntotutkimusvaiheen yhteydessä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 69.)

Rakenteiden ja yksityiskohtien kosteustekniset toimivuuspuutteet

Rakenteen kosteusteknistä toimivuutta tutkitaan silmämääräisten havaintojen perusteella. Tarkastelussa huomioidaan rakenteen kosteusrasitusta ja kosteusteknisiä ominaisuuksia sekä kosteuden vaikutusta rakenteissa. Puutteet rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisissä ominaisuuksissa edesauttavat rakenteiden vaurioiden syntymisessä ja etenemisessä (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 70.)

Rakenteiden erityisiä kosteusteknisiä ongelmia arvioidaan erillisellä kosteusteknisellä kuntotutkimuksella ja analyysillä, jonka vaiheiksi Suomen Betoniyhdistys ry (2019, 70) on listannut:

- 1) rasisolujen arviointi
- 2) rakenteen ja sen materiaalien kosteusteknisten ominaisuuksien arviointi
- 3) kosteuden siirtymisen, sitoutumisen ja kertymisen sekä kuivumismahdollisuuksien tarkastelu
- 4) kertymien vaikutusten arviointi
- 5) rakenteen liitosten ja muiden yksityiskohtien tarkastelu.

Pintamateriaalien ja -käsittelyiden vauriot

Pintatarvikkeiden kuntoa arvioidaan silmämääräisesti, koputtelemalla ja tarvittaessa vetokokeella. Pintatarvikkeen irtoamisen syytä voidaan tutkia mikrorakennetutkimuksilla, sekä selvittämällä rakenteen taustan tuulettuvuutta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 96.)

Pintakäsittelyn kuntoa tutkitaan silmämääräisesti hilseilyä ja halkeamia havainnoimalla. Kosteusvauriot voivat johtaa pintakäsittelyn vaurioitumiseen, jolloin samat kohdat voivat olla myös pakkasrapautuneita. Tutkimisessa tulee pyrkiä selvittämään vaurion aiheuttaja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 96.)

Pintakäsittelyn maalityypin selvittämällä voidaan tutkia pinnoitteen päälle maalattavuus tai poistettavuus, samalla voidaan arvioida tarvetta asbesti- ja haitta-ainetutkimukselle. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 97.)

Halkeilu ja muodonmuutokset

Rakenteiden halkeilua ja muodonmuutoksia tarkastellaan silmämääräisesti. Rakenteen toiminta tulee olla selvillä kuntotutkijalle, jotta halkeamien perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä. Riittävän seuranta-ajan sisällä tehtävillä halkeaman leveystarkasteluilla voidaan selvittää halkeamien liikkuvuutta.

Poranlieriönäytteestä tehtävän hietutkimuksen avulla voidaan tarkastella halkeaman syvyyttä. Korroosion vaikutusta raudoituksille voidaan selvittää avaamalla rakennetta halkeaman kohdalta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 98.)

Aiemmat korjaukset

Julkisivurakenteiden aiempia korjauksia tutkitaan arvioimalla korjaustavan valintaa, korjauksen toimivuutta ja korjauksen tuomaa lisäkuormaa rakenteelle. Pintakäsittelyn toimivuutta arvioidaan käsittelyn suojavaikutuksella päälle maalattavuudella ja sen poistomahdollisuudella.

Laastipaikkauksien kiinnittymistä voidaan tarkastella koputtelemalla rakennetta sekä vetokokeiden avulla. Laastipaikkauksista voidaan ottaa myös poralieriönäytteitä, jonka avulla voidaan tutkia paikkauksen vaikutusta karbonatisoitumisen etenemiseen.

Peittäviä korjauksien suojaustasoa ja vaurioita hidastavaa vaikutusta arvioidaan tarkastelemalla rakenteen suojauskykyä ja rakenteelle ominaista tuulettuvuutta. Tapauskohtaisesti tulee arvioida peittävän korjauksen kiinnitystä vanhaan rakenteeseen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 98–99.)

Terveydelle ja ympäristölle vaarallisten aineiden olemassaolo

Kuntotutkimuksien yhteydessä otettava haitta-ainenäytteenotto edellyttää haitta-aineisiin perehtyneen henkilön ohjeistusta. Asbesti- ja haitta-ainekartoituksessa voidaan hyödyntää kuntotutkimuksissa tarvittavaa kalustoa. Haitta-ainenäytteitä voidaan ottaa poralieriönäytteenä julkisivurakenteista. Julkisivujen ja ikkunoiden saumanäytteitä otettaessa tulee huomioida saumamassoissa käytettyjen haitta-aineiden imeytyminen betoniin.

Yksittäiset haitta-ainenäytteet eivät korvaa asbesti- ja haitta-ainekartoitusta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 99.)

5.2 Näytteenotto

Kuntotutkijan on suositeltavaa toimia näytteenottajana luotettavien tutkimustulosten saamiseksi ja jotta tutkimuksien yhteydessä voidaan tehdä havaintoja rakenteiden ominaisuuksista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 100.)

Näytteenotossa on huomioitava, ettei näytteenotolla heikennetä rakenteen kantavuutta tai sen kiinnitystä. Tästä syystä kuntotutkijan tulee tuntea rakennesysteemin toiminta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 101.)

Näytteiden ottamisessa on huomioita sitä seuraava paikkaaminen. Näytteenottokohtien paikkaaminen ei saa lisätä rakenteen rasitustasoa eikä rakenne tai sen ulkonäkö saa heikentyä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 102.)



Kuva 5. Poralieriönäytteenottokalusto. (Hilti, n.d.)

Näytteeseen merkitään rakenneosaa kuvaava tunnus sekä näytteen ylä- ja alapinta tai vastaavasti ulko- ja sisäpinta. Näytteen tunnus ja sijainti kirjataan näytteenottokarttaan sekä näytelomakkeeseen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 101.) Taulukkoon 6 on koostettu Suomen Betoniyhdistys ry (2019, 101) esittämät eri tutkimuksien edellyttämät näytteenottotavat.

Taulukko 6. Tyypillisimmät näytteenottotavat

Näytteenottotapa	Tutkittavat asiat
lieriöporaus	karbonatisoitumissyvyys, hietutkimus, vetokoe, suojahuokostussuhde
näytepala	kuten edellä
porajauhenäyte	kloridipitoisuus ja kloridiprofiili
maalinäyte puukolla	maalin tunnistaminen
saumanäyte puukolla	pcb- ja lyijypitoisuuden määrittäminen
mikrobinäyte	eristetilan mikrobitutkimus

Näytelierio porataan rakenteeseen kiinnitettävällä timanttioralla näytelierion suoruuden varmistamiseksi sekä ehjänä pysymiseksi. Timanttiorauksen yhteydessä käytetään porauskauluksellista vesi-imuria likaroiskeiden minimoimiseksi.

Lieriönäytteen reikä paikataan kuivasullontamenetelmällä tai liimamassalla tiivistetyllä muovitulpalla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 101.)

5.3 Näytteiden laborioriotutkimukset

Laboratorion pätevyyttä suorittaa testaus- ja kalibroittoimintaa ohjaa standardi ISO/IEC 17025 pätevyyden suomessa todentaa eli akkreditoi FINAS (Finnish Accreditation Service). (FINAS, 2021).

Myös laborioriotutkimuksien suorittamista ohjaavat tutkimuskohtaiset standardit.

Korroosio

Kloridipitoisuus mitataan jauhenäytteestä titraamalla. Jauhenäytteen maksimiraekoko on 0,1 mm ja vähimmäis-sementtimäärä on 2 grammaa. Sementtimäärältään 250 kg/m³ olevassa betonissa jauhämäärä saadaan halkaisijaltaan 15 mm reiästä, jonka syvyys on 45 mm. Uusintatitrausta varten näytejauhetta kannattaa kuitenkin ottaa suurempi määrä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 88.)

Rapautuminen

Mikrorakennetutkimuksia varten rakenteesta otetaan poralierionäyte. Lierionäytteestä valmistetaan ohut- tai pintahie ulkopinnasta kohtisuoraan rakenteen ulkopintaa vastaan.

Pintahienäyte valmistetaan hiomalla porattu lierionäyte vain yhdeltä sivulta ja siitä tehtävät tutkimukset tehdään hiotun näytteen pinnalta. Ohuthienäyte valmistetaan molemmilta puoliilta hiomalla näytekappale noin 25...30 µm paksuuteen ja siitä tehtävät tarkastelut suoritetaan näytteen ”läpi”. Mikroskoopilla tarkasteltaessa ohuthiestä saatavat halkeama- ja säröilytyypit tunnistetaan luotettavammin kuin pintahiestä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 91.)

Pintahiettä voidaan tutkia myös syväoppivalla tekoälymenetelmällä. Pintahienäytteestä otetaan valokuva, jonka sisältämien kivien, sementtien ja huokosten hahmot tekoäly tunnistaa ja laskee näiden pinta-alat. Tekoälytutkimuksen tuloksen arvioi aina tutkija. (Labroc Oy, n.d.)

Labroc Oy on määritellyt lisäksi näytteiden analysointiajan verkkosivuillaan seuraavasti:

Näytteiden analysointi-aika on tekoälymenetelmällä 7 työpäivää, ohuthieanalyysissä n. 3 viikkoa.

Suojahuokossuhteella kuvataan huokosten suhteellista osuutta betonirakenteen kokonaishuokostilavuudesta, jotka eivät täyty vedellä normaalipaineessa vesisäilytyksen aikana. Rajana pakkasenkestävyydelle pidetään 0,2 suojahuokossuhdetta. Suojahuokossuhteen määrittämisessä käytetään alipainemenetelmää kuntotutkimuksien yhteydessä, koska se soveltuu pienille kappaleille ja koska menetelmä on edullinen.

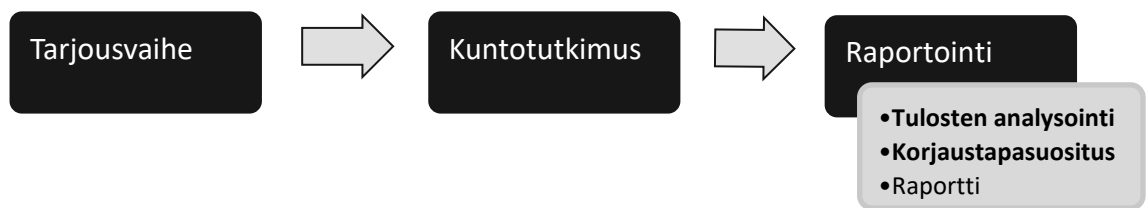
Standardin mukaisessa suojahuokossuhteen määrittelyssä betonikappale kyllästetään ilmapainetta korkeammassa paineessa, mutta menetelmä soveltuu heikosti pienille kappaleille.

Suojahuokostussuhteen määrittelyllä voidaan todeta, onko betoni lisähuokostettua, mutta betonia ei voida todeta varmuudella pakkasenkestäväksi. Mikrorakennetutkimuksia täydentävänä tutkimuksena suojahuokostussuhteen määrittäminen antaa hyvän kuvan betonin pakkasenkestävyydestä ja sen vaihtelusta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 94.)

6 Kuntotutkimuksen näytteiden analysointi

Kuntotutkimuksen tutkimustulosten analyysin tavoitteena on tuottaa johtopäätös tehdyistä kuntotutkimuksista. Johtopäätöksenä pyritään arvioimaan rakennusosien korjaustarvetta, korjattavuutta sekä vaurioiden vaikutusta turvallisuuteen.

Kuntotutkimuksen tuloksena tehtävän korjaustapasuosituksen valitseminen vaatii kuntotutkijalta ymmärrystä korjaustavan vaikutuksesta vaurion syntymiseen ja sen etenemiseen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 105)



Kuva 5: Kuntotutkimuksen raportointivaiheen sisältö

6.1 Näytteiden analysointi

Raudoituksen korroosiolaajuus ja sen eteneminen

Raudoitusten korroosiolaajuutta analysoitaessa tutkitaan, kuinka suuri osa raudoitteista on alttiina teräksen korroosiolle karbonatisoitumisen tai kloridirasituksen takia.

Betonipeitteen paksuusmittauksen ja karbonatisoitumissyvyysien tuloksien osuudet jaetaan syvyysvyöhykkeisiin. Tämän osuustarkastelun avulla lasketaan, kuinka suuri osa raudoitteista sijaitsee karbonatisoituneella vyöhykkeellä ja näin alttiina korroosiolle. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 109).

Kloridipitoisuuden kriittisenä määränä pidetään 0,03...0,07 paino-% betonin painosta. Korkean kosteusrasituksen yhteydessä kriittisenä kloridipitoisuutena pidetään 0,3 paino-%. Karbonatisoituminen ja kosteusrasitus kiihdyttävät kloridikorroosiota. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 21)

Karbonatisoitumisen hidastuvaa etenemisnopeutta kuvataan neliöjuurimallin avulla. $x = k\sqrt{t}$, jossa x on karbonatisoitumissyvyys [mm], k karbonatisoitumismiskerroin [$\text{mm}/\sqrt{\text{a}}$] ja t aika [a]. Tyypillinen karbonatisoitumisnopeus julkisivurakenteilla on $k=1,5\text{...}3,5$ $\text{mm}/\sqrt{\text{a}}$. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 20.)

Raudoituksen korroosion etenemistä tulevaisuudessa tarkastellaan laskemalla karbonatisoitumiskerroin lieriöporanäytteistä saatavien karbonatisoitumissyvyysien avulla. Karbonatisoitumiskertoimen avulla lasketaan karbonatisoitumissyvyys tulevaisuudessa valitulla ajanjaksolla. Lasketun karbonatisoitumissyvyuden avulla arvioidaan valitun ajanjakson kohdalla olevaa korroosio määrää.

Tässä laskentamenettelyssä ei oteta huomioon korroosion alkamisesta näkyvien vaurioiden syntymiseen kuluvaa aikaa, joka voi kestää useita vuosia rakenteen rasitusoloista ja teknisistä ominaisuuksista riippuen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 111–112.)

Betoninrapautuminen

Rakenteen pakkasrapaamaa tutkitaan rakenteen rasitetuimmista kohdista alkaen, mikäli rakenne todetaan pakkasenkestämättömäksi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 113.)

Pakkasrapaumaa tutkitaan teettämällä kahdesta kolmeen hiettä rakenteen pakkarasitetuimmasta kohdasta, mikäli pakkasrapaumaa ei ole kenttätutkimuksissa havaittu vasaroimalla tai silmämääräisellä tarkastelulla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 92).

Taulukko 7 sisältää Suomen Betoniyhdistys ry (2019, 93) tulkinnan vetolujuuskokeiden arvoista betonin rapautumista tutkittaessa. Käytettäessä taulukon 7 vetolujuuskokeen arvoja rapautumisen arviointiin, murto tulee tapahtua betonin kohdalta, eikä esimerkiksi suuren runkoaineen tai teräksen kohdalta.

Vierekkäisten vetolujuuskokeiden tulokset tulee olla samansuuntaisia, jotta tuloksia voidaan pitää luotettavina. Betonin alhainen vetolujuus voi johtua rapautumisen lisäksi käytetyn runkoaineen laadusta, betonin alhaisesta lujuustasosta ja betonin kuormituksista tai pakkovoimista aiheutuvasta halkeilusta. Tämän takia rapautumaa tutkittaessa vetolujuuden tulokset tulee varmistaa esimerkiksi hietutkimuksella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 93.)

Taulukko 7. Eräs mahdollisuus tulkita betoninäytteistä mitattuja vetolujuuksia (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 93.)

Vetolujuus	Todennäköinen rapautumistilanne
luokkaa 0 MPa	näytteessä on pitkälle edennyttä rapautumaa
luokkaa 0,5...1,0 MPa	näytteessä on jonkinasteista rapautumaa
luokkaa 1,5 MPa tai yli	näytteessä ei todennäköisesti ole merkittävää rapautumaa

Kantavuuden arviointi

Rakenteiden toimivuuteen on aina otettava kantaa kuntotutkimuksen tuloksia analysoitaessa. Vaurioituneen rakenteen ja rakenneosan kantavuutta arvioidaan kuntotutkimuksen tuloksia yhdistämällä. Suomen Betoniyhdistys (2019, 115) esittää seuraavia asioita huomioitavaksi kantavuuden arvioinnissa:

- 1) rakenteen staattinen toimintatapa
- 2) rakenteen alkuperäinen varmuustaso
- 3) rakenteelliset poikkeamat, virheet ja muutokset

- 4) olemassa olevien vauriotyyppien vaikutus
- 5) olemassa olevien vaurioiden eteneminen
- 6) rakenteen vahvistus- ja kevennysmahdollisuudet
- 7) lisätutkimustarve.

Kantavuustarkastelulla pyritään tuottamaan tietoa rakenteen varmuustasosta, kantavuudelle riskialttiista kohdista ja rakenteen heikkenemisestä jatkossa sekä selvittämään suositeltavat korjaus- ja vahvistustavat sekä korjausten ajankohta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 116.)

6.2 Tutkimustulosten analysointi ja korjaustapasuositukset

Kuntotutkimuksen tutkimustulosten analyysi suoritetaan tarkastelemalla yhtä rakennetyyppeä ja tätä koskevaa yhtä potentiaalista vauriotapaa kerrallaan. Tämän tiedon perusteella arvioidaan, kuinka yksittäinen vaurio vaikuttaa rakenteen:

- 1) turvallisuuteen
- 2) muiden ominaisuuksien heikkenemiseen
- 3) korjaustarpeeseen
- 4) käytettävissä oleviin korjaustapoihin (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 106).

Potentiaalisten ja oleellisten vauriotapojen yksittäistarkastelun jälkeen arvioidaan vaurioiden yhteisvaikutusten merkitystä rakenteen turvallisuudelle ja korjattavuudelle. Monessa tapauksessa tarkastelussa nousee esiin yksi merkittävä vauriotapa, jonka rooli korjauksissa on määräävä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 107.)

Taulukkoon 8 on koostettu Suomen Betoniyhdistys ry:n (2019, 107–108) esittämien yksittäisten vauriotapojen laajuuksien vaikutusta korjaustavan valinnalle.

Vaurioiden yhteisvaikutusta arvioidaan seuraavien toimenpiteiden kannalta järjestyksessä:

- 1) purkaminen
- 2) peittävä korjaus
- 3) korjaus ulkonäkö säilyttäen
- 4) rakenteen loppuun käyttäminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 107)

Taulukko 8. Eri vaurioiden laajuuden vaikutus korjaustavan valinnassa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 107–108)

	Rakenteen purkaminen	Verhoava korjaus	Ulkonäön säilyttävä korjaus	Ei korjausta rakenteen loppuun käyttäminen
Betonin rapautuminen	laajasti rapautunut rakenne ei kelpaa uuden rakenteen osaksi	rapautumavaurioita ei voida pysäyttää muulla tavalla	aivan alkuvaiheessa oleva rapauma	betonin vetolujuus > 1,5 MPa
Raudoitusten korrosio	laajat korrosiovauriot, eikä verhoavaa korjausta voida käyttää	näkyviä korrosiovaurioita on tai on syntymässä runsaasti	raudoituksen korrosiolaaajuus < 10 % betonissa ei ole klorideja	
Kantavuuden heikentyminen	rakenteen kiinnitys tai kantavuus on selvästi heikentynyt	rakenteen tuenta ilman verhousta ei onnistu	kiinnitys ja kantavuus ovat kunnossa	kantavuuden tai kiinnitysten heikentyminen ei aiheuta turvallisuusriskiä

Raudoitusten korrosio

Raudoitusten paikkakorjauksen kannattavuutta pohdittaessa otetaan huomioon paikattavien raudoitusten rajasyvyys, jota syvemmällä olevia raudoitteita ei paikata. Rajasyvyyden asettaminen syvälle pienentää korjaustavan riskiä, mutta samalla nostaa paikattavien raudoitteiden määrää ja näin nostaa korjaustavan kustannuksia. Korjaussuosituksessa on hyvä mainita korjaustapaan liittyvästä riskistä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 110.)

Betonin rapautuminen

Ulkoseinäelementeissä pakkasrapautuneiden alueiden paikkakorjaaminen ei ole kannattavaa pois lukien aivan alkuvaiheessa oleva rapautuminen. Laajat pakkasrapautuneet alueet johtavat peittäviin- tai purkukorjauksiin.

Parvekerakenteiden kohdalla rapauman korjaaminen voidaan suorittaa paikallisina valu- tai paikkakorjauksina, mikäli rapautuma ei ole laaja-alaista. Hoikkien rakenteiden pakkasrapautuminen johtaa yleensä vähintään osittaisiin purkukorjauksiin, pois lukien riittävän ajoissa havaittua tai vasta alkavaa rapautumaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 113)

Kantavuuden heikentyminen

Heikentyneen kantavuuden korjaustavan arvioinnissa tulee vertailla rakenteen korjaamisesta tai uusimisesta syntyviä kustannuksia. Rakenteen uusimiseen päädyttäessä on suositeltavaa suorittaa rakenteen koepurku viimeistään korjaussuunnitteluvaiheessa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 116)

Korjaustapojen kuvaukset

Purkamisella ja verhouksella tarkoitetaan rakenteen ulkokuoren korjaustapaa, jossa vaurioitunut betoninen ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan kokonaan pois. Puretun rakenteen tilalle asennetaan uudet lämmöneristeet sekä uusi verhoava ulkokuori. (Haukijärvi, F2, 4)

Verhoavalla korjaustavalla tarkoitetaan julkisivurakenteen peittämistä uudella suojaavalla pintarakenteella. Ulkoseinään tehtäviin verhoukorkorjauksiin sisältyy lisälämmöneristys, joka sijoitetaan aina vanhan rakenteen ulkopuolelle. (Haukijärvi, F3, 4)

Ulkonäön säilyttävä korjaus luetaan korjaustavaksi, joka suoritetaan muuttamatta vanhan rakenteen ominaisuuksia tai toimintatapaa. Ulkonäön säilyttävä korjaus voi sisältää uuden suojaavan pinnoitteen. (Haukijärvi, F1, 3.)

7 Kuntotutkimuksen raportointi

Kuntotutkimuksen raportoinnin tarkoitus on koota tutkimustieto ja sen perusteella tehdyt johtopäätökset kirjalliseen muotoon ja välittää tieto kuntotutkimuksen tilaajan käytettäväksi. Raportissa kuntotutkija tallentaa kaiken tutkimustiedon tulevaisuuden käyttöä varten.

Rakenteisiin ja materiaaleihin perehtymättömälle lukijalle raportin yksityiskohtainen informaatioarvo voi jäädä pieneksi. Tästä syystä tutkimustuloksista on suositeltavaa tehdä lyhyt yhteenveto.

Tutkimustulosten ja korjaussuosituksien lisäksi raportoinnissa on hyvä selventää rakenteiden vauriomekanismeja ja tutkimuksissa käytettyjä kuntotutkimusmenetelmiä lyhyiden selostusten avulla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 117.)



Kuva 6. Kuntotutkimuksen raportointivaiheen sisältö.

Raportoinnissa tulee esittää kaikki ne asiat, joilla voi olla vaikutusta kunnossapitoon tai korjaussuunnitteluun. Tämä tarkoittaa, että kaikki kuntotutkimuksen aikana tehdyt havainnot tulee kirjata raporttiin yksittäisinä havaintoina tai koosteena. Raportin muoto tulee olla johdonmukainen ja selkeästi luettavissa, jotta raportin sisältö on tarvittaessa hyödynnettävissä.

Raportissa voidaan esittää vain ne tutkimustiedot, jotka on tutkimuksissa selvitetty. Lisäksi raportissa tulee esittää arvio tulosten epävarmuudesta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 117.)

Suomen Betoniyhdistys (2019, 117) esittää seuraavia pääkohtia kuntotutkimuksen sisällöksi:

- 1) tiivistelmä, jossa esitetään tutkimuksen keskeisimmät lopputulokset
- 2) sisällysluettelo varusteltuna sivunumeroin
- 3) kohteen tunniste- ja yleistiedot
- 4) tutkimuksen sovitut tavoitteet ja rajaukset

- 5) *tutkittujen vaurioiden lyhyt esittely*
- 6) *kuntotutkimuksessa suoritettut toimenpiteet ja käytetyt tutkimusmenetelmät*
- 7) *havainnot ja mittaustulokset yms. sekä niiden tarkastelu*
- 8) *johtopäätökset rakenteiden kunnosta*
- 9) *turvallisuutta ja terveellisyyttä heikentävät tekijät*
- 10) *kysymykseen tulevat toimenpidevaihtoehdot ja niiden tarkastelu*
- 11) *lisä- ja jatkotutkimustarve (tarvittaessa)*
- 12) *liitteet*

Raportoinnista on kattavat ohjeet Suomen Betoniyhdistyksen (2019, 117) Betonijulkisivun kuntotutkimus -kirjassa. Tässä opinnäytetyössä raportointia käsitellään tarkemmin liitteenä (liite 1) olevassa raportointipohjassa.

8 POHDINTA

Betonijulkisivujen kuntotutkimusprosessiin tutustuminen loi minulle käsityksen tutkimusprosessin rungosta, jota voi jatkossa soveltaa koskemaan myös muiden kuin betonirakenteiden kuntotutkimuksia. Tutkimusmenetelmien selvittäminen antoi minulle hyvän kuvan kuntotutkimuksien suorittamisen teoriasta. Teoriatietoa voin jatkossa hyödyntää rakennusinsinöörin tehtävissä. Korjaustavan valintaa koskevia kappaleiden kirjoittaminen selvensi minulle rakenteiden vauriotapojen merkityksiä, joiden ymmärtäminen on oleellista korjausrakennesuunnittelussa.

Opinnäytetyön lukijalle näen tämän työn käyttökelpoisena tutustumispakettina kuntotutkimuksien suorittamiseen. Informatiivisuuden lisäksi työ sisältää kohtia, kuten vauriokuvaukset ja kuntotutkimusmenetelmät, joita voi käyttää sellaisenaan kuntotutkimuksen raportoinnissa.

Tämän opinnäytetyön luonne olisi muuttunut oleellisesti, mikäli kuntotutkimusprosessiin tutustumista olisi ohjannut case-kohteen tyyppinen esimerkkikohte. Tällöin kohteen kuntotutkimus olisi ohjannut työtä käsittelemään selkeästi tiettyä kohdetta, eikä työn monipuolinen käytettävyys olisi jatkossa hyödynnettävissä. Jatkossa tätä työtä voisi kehittää enemmän ohjeen muotoon koskemaan myös muita kohteita kuin betonijulkisivun kuntotutkimuksia.

Kuntotutkimuksen jokaisessa vaiheessa nousee esiin kuntotutkijan kokemus ja ammattitaito. Tutkijan tulee omata perehtyneisyyttä vauriomekanismeihin, eri aikakausien rakennetyyppien vaurioalttiuteen sekä omata hyvä ymmärrys rakenteiden staattisesta toiminnasta. Kuntotutkijan tulee lisäksi ymmärtää ja tunnistaa aikakausien tyypillisiä työmenetelmiä ja niiden aiheuttamia vaurioalttiutta lisääviä ominaisuuksia. Kuntotutkimus edellyttää lisäksi näytteenotto- ja nostinkalustoa sekä niiden käytön hallitsemista näytteiden laadun varmistamiseksi. Molemmat asiat, kuntotutkijan tietotaito sekä näytteenoton hallitseminen vaikuttavat oleellisesti kuntotutkimuksen luotettavuuteen ja kustannuksiin.

LÄHTEET

Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. by42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019. 4. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. Tilaajan ohje 2014: Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus. Pdf-dokumentti. Viitattu 28.2.2023.

<https://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/verkkojulkaisut.html>

Hietakangas, J. lehtori. 2023. Haastattelu 7.3.2023. Tampere.

Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä (VNA 215/2015) 3 luku Kantavien rakenteiden suunnittelutehtävien vaativuus

Hilti oy, n.d. Timanttitorat. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2023.

https://www.hilti.fi/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_DIAMOND_CORING_MACHINE_SUB_7124/CLS_DIAMOND_CORING_MACHINE_7124/r12321865

Labroc Oy, n.d. Pakkasenkestävyys. Verkkosivu. Viitattu 31.3.2023.

<https://labroc.fi/pakkasenkestavyys-huokosjako-laattakokeet/>

FINAS, 2021. Akkreditointi. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2023.

<https://www.finas.fi/akkreditointi/Sivut/default.aspx>

Haukijärvi, Matti. 2005. Julkisivuyhdistys. JUKO – Ohjeistokansio. Betonijulkisivut. Pdf-dokumentti. Viitattu 4.4.2023.

<https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

F1 Pinnoitus- ja paikkakorjaukset -yleiskuvaus

F2 Purkaminen ja uudelleenverhous -yleiskuvaus

F3 Verhouskorjaukset -yleiskuvaus

LIITTEET

Liite 1. Kuntotutkimusselostepohja (ei julkaistu)