

Loppuraportti

Asuinrakennusten elinkaarikustannusten ennustaminen

Pandia Oy

23.1.2019



1 Tausta ja tavoitteet

Suomen asuntokannan korjaustarve on VTT:n arvioiden mukaan noin 10 miljardia euroa vuosittain. Asumme vanhenevissa taloissa, joissa korjaukset ja ylläpito ovat yksi eniten asumisen hintaa nostavia tekijöitä. Hankkeen lähtökohtana oli tutkia, voimmeko tehostaa rakennusten huoltoa ja korjaamista hyödyntämällä uusia tietolähteitä ja mallinnuskeinoja.

Käytännössä hankkeen tavoitteita oli:

- Arvioida ja kokeilla miten kiinteistöalan digitalisaation tuomaa dataa voidaan hyödyntää rakennusten ylläpidossa.
- Arvioida ja kokeilla miten nykyaikaiset mallinnuskeinot soveltuvat asuinrakennusten mallintamiseen ylläpidon kontekstissa.
- Kokeilla hankkeessa kehitettyjä ratkaisuja yhteistyökumppaneiden avulla käytännössä, saadaksemme näyttöä lähestymistavan hyödyistä.

2 Hankkeen tekniset ratkaisut ja tulokset

Kehitimme hankkeessa keinoja mallintaa asuinrakennuksia. Tutkimme, miten mallinnusta voidaan käyttää rakennusten ylläpidon sekä erityisesti korjaamisen ennustamiseen ja optimointiin. Yhteistyökumppaneilta saadun datan avulla kokeilimme miten erilaisia tietolähteitä ja menetelmiä voidaan hyödyntää mallintamiseen ja optimointiin. Hankkeessa tarkasteltiin erityisesti rakennusten perustietoja, korjaushistoriaa, ylläpidon toteutuneita kustannuksia, sekä teknisten isännöitsijöiden arvioita elinkaarikustannuksista ja korjaustarpeista. Kokeilimme myös erilaisten mallinnuskeinojen kuten koneoppimisen soveltuvuutta, ja tutkimme muun muassa miten IoT-mittausdataa kuten ilmankosteusarvoja voisi hyödyntää.

Hankkeen lähtökohtana oli elinkaarimalli rakennuksesta, joka sisälsi yksinkertaistetun tiedon eri rakenneosista ja niiden elinkaarista sekä mahdollisista korjaustoimenpiteistä. Tämä konseptimalli vastaa karkeasti sitä, miten tekniset asiantuntijat nykyään suunnittelevat tai hahmottelevat tulevia korjauksia. Yksinkertaisessa esimerkissä elinkaarimalliin voisi kuulua pelkästään käyttövesiputkisto, ja tieto siitä, että tämä rakenneosia tulisi korjata noin 40 vuoden välein tietynlaisella toimenpiteellä. Tämänkaltaisesta lähtökohdasta tutkimme, miten ennusteita voidaan tehdä, tarkentaa, tai kyseenalaistaa uusia tietolähteitä tai mallinnuskeinoja hyödyntämällä. Kokeilimme ja tutkimme miten tällaista mallia voisi käyttää korjaamisen optimaalimpaan suunnitteluun. Kokeilimme myös miten tällaista mallia tulisi kehittää kokonaisuutena; miten eri rakenneosien interaktioita tai riskejä voisi laskea osana mallia. Keskeinen osa hanketta oli yksinkertaisesti tämän lähtökohdan kehittämistä, sillä se toimi pohjana kaikelle muulle kokeilulle ja osoittautui kriittiseksi, jotta kokeiluja pystyttiin tekemään varsinaisen käytön ja kokonaisten rakennusten kontekstissa. Yhteistyö-

kumppanien avulla saimme ohjausta ja palautetta siitä, miten mallinnuksen hyödyt tuodaan osaksi ylläpidon prosesseja. Jos lisätään uusi tietolähde, kuten kosteussensori, usein todellisen hyödynnettävyyden kannalta tärkein asia saattaa olla se, miten tämä tieto tuodaan osaksi korjauksia suunnittelevan henkilön tai yrityksen työtä. Tässä erityisen arvokkaaksi osoittautui käyttäjien palaute uusista kehityksistä.

Kuvatun kaltaisessa rakennusten mallintamisessa totesimme kaksi konkreettista osa-aluetta: yksittäisten rakenneosien mallintamisen, ja rakennuksen mallintamisen kokonaisuutena. Kolmantena osa-alueena voisi pitää koko rakennuskannan ylläpidon optimointia, joka oli kuitenkin vähemmän relevantti hankkeen ja tutkittujen uusien tietolähteiden kontekstissa. Uusista tietolähteistä ja menetelmistä saatavat innovaatiot liittyivät enemmän rakenneosien ja yksittäisten rakennusten mallintamiseen. Lopulta kyse on kuitenkin rakenneosista ja niiden huollosta tai korjaamisesta. Uusien tietolähteiden hyödyntäminen kohdistuu käytännössä aina tiettyihin rakenneosiin ja niiden korjaushankkeisiin. Näitä yhdistämällä voidaan mallintaa rakennusta kokonaisuutena, ja lopulta paremmat tiedot rakenneosista ja rakennuksista auttavat koko rakennuskannan ylläpidon optimoinnissa.

Mallintamisessa hyödynnettävistä uusista menetelmistä hyödyllisimpiä vaikutti tässä vaiheessa olevan muilla aloilla jo hyvin tunnetut tilastotieteelliset ja erityisesti Bayesilaiset menetelmät. Nämä menetelmät ovat kohtalaisen helposti ymmärrettävissä ja sovellettavissa ongelman eri osa-alueisiin. Esimerkiksi aiemman esimerkin käyttövesiputkiston elinkaarta voidaan helposti säätää Bayesilaisesti; mallia päivitetään ja säädetään aina kun todetaan rakenneosaan liittyvää uutta tietoa, kuten vaikka vuotohälytys reaaliaikaisesta kulutussensorista. Yksinkertaistettuna tämä vain tarkoittaa, että säädämme ennusteen ajankohtaa, riskejä, tai todennäköisyyttä aina kun saamme uutta tietoa.

Tilastollisten menetelmien lisäksi tutkimme koneoppimisen ja niin sanotun tekoälyn soveltamista. Koneoppimiseen löytyy nykyään helposti monia valmiita työkaluja ja ohjelmistokehyksiä, myös suomalaisten tutkijoiden julkaisemina. Näiden käyttö on parhaimmillaan helppoa, mutta hyötyjen saaminen vaatii usein syvää ammattitaitoa ja ennen kaikkea sopivan sovelluskohteen. Koneoppiminen soveltuu parhaiten esimerkiksi kuvien tai äänen käsittelyyn, missä algoritmia pystytään säätämään suurella määrällä esimerkkidataa, ja sovelluskohde on redusoitavissa matemaattiseen ja helposti evaluoitavaan muotoon. Nykyisellään rakennusten ylläpidossa on vähän valmiiksi sopivia sovelluskohteita. Koneoppimisalgoritmeille ei voi vain antaa epämääräistä ja epäsäännöllistä dataa, millaista suurin osa tietolähteiden tiedoista on.

Tunnistimme kuitenkin joitain osa-alueita, joihin koneoppiminen voi soveltua. Näitä ovat erilaiset reaaliaikaiset sensoritiedot ja erilaiset kustannus- ja hintatiedot. Sensoritiedoista sisäilman kosteusmittarit antavat todennäköisesti hyödyllisintä tietoa, ja voimme jo nyt tehostaa ylläpitoa käyttämällä tätä dataa korjausten ennakointiin. Vastaavasti veden kulutusta seuraamalla voidaan todeta vuotoja nopeammin kuin on aiemmin ollut mahdollista. Kustannus- ja hintatietoja voidaan käyttää algoritmin kouluttamiseen yhdistämällä

siihen esimerkiksi rakennusten perustietoja. Näin saadaan kohtalaisen toimivia ennusteita. Algoritmi oppii esimerkiksi, että 70-luvulla rakennettujen talojen korjauskulut kasvavat merkittävästi 50 vuoden iässä. Koulutetulle algoritmilta annetaan arvioitavan rakennuksen perustiedot, ja se antaa tuloksena muista samanlaisista kohteista oppimansa ennusteet. Tämän lähestymistavan huono puoli on, että sen hyödyllisyys on vähäistä. Hintatietojen pohjalta koulutettu algoritmi voi palauttaa järkeviä hintaennusteita, mutta tämä ei yksinään tuota hyötyjä tai säästöjä ylläpitoon. Tämän lisäksi algoritmin tuloksista ei suoraan tiedetä mitä se tarkalleen ennustaa, koska koneoppiminen on "musta laatikko", jonka toimintaa on jopa mahdoton selittää.

Hankkeen keskeinen tavoite oli tunnistaa ja tutkia mikä data ja mitkä tietolähteet voivat olla hyödyllisiä. Tämän dokumentin lopussa olevassa taulukossa on lueteltuna tutkitut tietolähteet ja niistä tehdyt johtopäätökset.

3 Poikkeamat hankesuunnitelmasta

Hanke vastasi pääosin alkuperäistä suunnitelmaa. Kohtasimme kuitenkin kaksi haastetta, jotka johtivat poikkeamiin:

- Hankkeessa hyödynnettiin suunniteltua vähemmän standardeja.
- Hankkeessa ei kehitetty uusia ratkaisuja ennusteiden tai optimoinnin laadun arviointiin.

Halusimme hankkeen pohjautuvan mahdollisimman pitkälti olemassa oleviin standardeihin sekä aiemmin tehtyyn tutkimukseen. Totesimme kuitenkin hankkeen aikana, että aiempaa akateemista tutkimusta aiheesta on hyvin vähän. Akateemisia tutkimuksia aiheesta on vain muutamia, ja niissäkin kehitetyt mallit ovat yksinkertaisia, usein vain kahteen tai kolmeen muuttujaan perustuvia kaavoja. Standardien osalta kohtasimme konkreettiseksi ongelmaksi sen, että niiden käyttö on vielä vähäistä. Lisäksi vaikka olisimme saaneet pohjatietoja standardien mukaisissa muodoissa, ei monet näistä standardimuodoista sovellu suoraan digitaaliseen käsittelyyn tai hankkeen tarkoituksiin. Huomion arvoista on, että rakennuttamisessa käytettyjä BIM-objekteista eli rakennusten 3D-tietomalleista löytyy merkittävästi enemmän tietoa ja yhteiskäyttöisiä tietotyyppejä, mutta näiden soveltuvuus ylläpidon ongelmiin on vielä lähes olematonta.

Halusimme hankkeessa kehittää menetelmiä, joiden avulla pystyisimme arvioimaan hankkeessa kokeiltavien rakennuskohtaisten korjaus- ja kuluennusteiden laatua. Tähän emme kuitenkaan hankkeen aikana kehittäneet merkittävästi uudenlaisia ratkaisuja. Muissa vastaavissa sovelluskohteissa monimutkaisia ennustusmenetelmiä käytettäessä ennusteiden laatua arvioidaan tyypillisesti tekemällä ennusteita historiaan tai vastaavaan testidataan missä oikeat tulokset tiedetään jo valmiiksi. Nämä menetelmät sopivat huonosti

useimpiin rakennusten ylläpidon osa-alueisiin, missä aikajaksot voivat olla kymmeniä vuosia, ja historiatietoja on harvoin sähköisenä. Nykyisten rakennusten historialliset korjaustiedot kertovat lopulta kuitenkin myös vain sen, milloin rakenne on korjattu, eikä sitä miksi se on korjattu tai milloin olisi ollut optimaalista korjata se. Käytännössä arvioimme kokeiluja jo aiemmin tiedossa olevalla tavalla: katsoimme tuloksia ja arvioimme niiden laatua asiantuntijatiedon avulla. Arvioimme ennusteita myös vertaamalla niitä teknisten isännöitsijöiden tekemiin suunnitelmiin ja arvioihin, silloin kun näitä suunnitelmia ei käytetty tietolähteenä.

Hankkeen alkuperäisessä kustannusarviossa olimme ennakoineet pienen osan kuluista asiantuntijapalveluiden hankintaan. Emme kuitenkaan ostaneet asiantuntijapalveluita hankkeen aikana.

4 Haasteet ja kehittämistarpeet

Hankkeessa tunnistimme monia erityisiä haasteita ja kehittämistarpeita. Näistä kenties keskeisin oli yksinkertaisesti se, että koko hankkeen lähestymistapa oli uutta. Suurille kiinteistöomistajille asuinrakennusten korjaukset ovat ajankohtainen ja merkittävä ongelma, mutta useimmat ovat vasta muuttamassa korjaussuunnittelun prosessejaan digitaalisiksi, ja heillä ei ole vielä kyvykkyyttä kokeilla hankkeessa tutkittuja uusia menetelmiä. Hankkeen aikana tehdyt kokeilut ja tulokset olisivat varmasti hyödyllisiä lähes kaikille, jotka rakennuksia omistavat tai hallinnoivat, mutta vielä ei ole olemassa merkittäviä akateemisia tai kaupallisia osapuolia, jotka ratkoisivat ongelmaa hankkeen lähtökohdista. Hankkeen tuloksia ei vielä pystytty hyödyntämään laajemmin, vaikkakin kehityssuunta vaikuttaa varmalta.

Kiinteistöalan digitalisaation verrattain hitaampi tahti näkyi myös muun muassa rajapintojen puutteena ja sen kautta datan huonona saatavuutena. Myös standardien puute vaikeuttaa kehitystä, ja vaikka joitain standardeja on jo, ne on usein suunniteltu muihin kuin digitaalisiin käyttötarkoituksiin ja eivät välttämättä sovellu esimerkiksi mallintamisen tarpeisiin. Esimerkiksi rakennusten korjaushistoria on tyypillisesti vielä paperilla tai ohjelmassa, josta sitä ei voida ohjelmallisesti hakea.

Hankkeen aikana perehdyimme myös BIM-tekniikkaan, mutta totesimme ettei käytännössä yhdestäkään vanhemmasta asuinrakennuksesta ole olemassa tai saatavilla näitä rakentamisessa käytettyjä tietomalleja. Uusienkin rakennusten BIM-objektit vaikuttavat olevan jo vanhentuneita, kun rakennus on valmis ja siirtynyt ylläpitovaiheeseen. Rakennusvaiheen aikana syntyviä tietoja ei vielä käytetä lähes mitenkään ylläpitovaiheessa, vaikka aiheesta on joitain tutkimuksia ja ainakin yksi KIRA-Digi kokeilu. BIM on selvästi suunniteltu rakentamisen tarpeisiin, eikä sen käyttö ylläpidossa ole välttämättä perusteltua tai kustannustehokasta. Näemme kuitenkin näissä tietomalleissa paljon potentiaalia, ja yksi hankkeen jälkeinen tavoitteemme on tuoda rakennus- ja ylläpitovaiheiden ratkaisuja lähemmäs toisiaan.

Tekninen tieto ja osaaminen kiinteistöalalla erityisesti rakennusten kunnossapidosta on hyvin hajaantunut-

ta. Monia asioita ei voida mallintaa yksinkertaisesti; on vain tiedettävä, että esimerkiksi 1970-luvulla rakennettiin tietynlaisia rakennuksia tietynlaisilla rakenteilla, joissa on tietyt riskit ja vahvuudet. Ehkä aikanaan kehittyvät algoritmit voivat oppia huomioimaan tämän kaltaisia tietoja, mutta ennen kuin siihen päästään täytyy vastaavia tietoja yksinkertaisesti tietää ja ohjelmoida malleihin. Aiheen osaaminen saattaakin paikoin olla vain muutamien henkilöiden varassa koko maassa.

Osa aihealueen ongelmista tulee vaatimaan innovatiivisia ratkaisuja. Mikään yksittäinen mallinnuskeino ei pysty vastaamaan kaikkiin tarpeisiin, ja osan asioista voi todeta lopulta vain tarkistamalla. Ehkä tarkastelemalla sisätilojen ilmankosteuden historiaa voidaan todeta, että kosteusvaurion riski on kohonnut, mutta lopulta sen toteamiseen tarvitaan fyysinen tarkastus. Tulevaisuudessa voitaisiin hyödyntää erilaisia sensoreita ja antureita, esimerkiksi seinien sisällä, jotka osaavat kertoa rakenteen todellisesta kunnosta paremmin.

5 Hankkeen hyödynnettävyys ja vaikutukset

Hanke tuotti näyttöä mallintamisen toimivuudesta ja hyödyistä, sekä tietoa erilaisten tietolähteiden hyödynnettävyydestä. Hankkeen aikana tunnistimme selvästi asuinrakennusten korjaamisen olevan kansainvälinen ongelma, johon ei vielä ole systemaattisia ratkaisuja. Suomessa korjaustarve tulee VTT:n mukaan kasvamaan joka vuosi seuraavat 20 vuotta, ja varsinkin kasvukeskusten ulkopuolella tämä tulee vaatimaan merkittäviä toimenpiteitä. Arvioimme, että tuomalla hankkeessa tutkitut ja kokeillut menetelmät osaksi rakennusten ylläpitoa, voidaan saavuttaa 20-40% säästöt läpi asuinrakennusten elinkaaren. Hyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin työtä, sillä useimmilla kiinteistöomistajilla ei ole vielä valmiutta ottaa uusia tietolähteitä ja menetelmiä osaksi prosessejaan. Lisäksi osa hankkeessa tutkituista ja hyödyllisiksi todetuista lähestymistavoista on vasta kokeilullisia, eikä niitä ole vielä tuotteistettu helposti saataviksi. Jatkamme hankkeessa todettujen ratkaisujen kehittämistä, mutta hyötyjen kokonaisvaltainen jalkauttaminen tulee todennäköisesti vaatimaan laajempaa yhteistyötä. Lopulta rakennusten ylläpidossa uudet ratkaisut eivät tarjoa alan toimijoille vain kilpailuetua, vaan tehostavat koko alan ja yhteiskunnan toimintaa.

6 Viestintä

Hankkeen aikana kokeilua ja sen välituloksia esiteltiin KIRA-Digin tilaisuuksien lisäksi hankkeen yhteistyökumppaneille, sekä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton sekä RAKLI:n tilaisuuksissa. RIL:in tilaisuudessa pidetty luento oli arvokas hankkeen kannalta, sillä saimme suoraa palautetta rakentamisen johtavilta asiantuntijoilta. Hanketta ja sen aihepiiriä on esitelty myös Aalto-yliopistossa kahdelle tutkimusryhmälle. Hankkeen aikana keskustelimme myös muiden saman aihepiirin KIRA-digi hankkeiden kanssa. Viestintä tuloksista ja kehitetyistä ratkaisuksista jatkuu myös hankkeen loputtua.

Tietolähde	Saatavuus	Hyödynnettävyys	Tekninen huomio
Rakennuksen perustiedot	Rakennusten perustietoja on aina saatavilla mutta niiden tarkkuus ja kattavuus vaihtelee.	Lähes välttämätön data, jossa suurin informaatiotiheys. Perustiedot luovat pohjan kaikelle muulle analyysille.	Vaatii käytännössä aina siistimistä ja sääntöpohjaisista käsittelyä.
Korjaus- ja huoltohistoria	Kohtalaisen hyvin saatavilla, ainakin tärkeimmät remontit. Vaatii tyypillisesti jalostamista, pahimmillaan paperiarkistojen tutkimista. Valmiit nimikkeistöt voivat helpottaa kategorisointia.	Korjaushistoria on tärkein tietolähde teknisen velan ja korjaustarpeen arviointiin. Historian merkitys korostuu mitä vanhempi rakennus on kyseessä. Uudet teknologiat ja sensorit tuo uusia mahdollisuuksia.	Mallintaminen vaatii erilaisien keinojen yhdistelyä. Nyt paras lähestymistapa syklinen malli, jota säädetään lisädatan avulla Bayesilaisesti. Tarpeeksi suurilla datamäärillä koneoppiminen voi soveltua ainakin osittain.
Toteutuneet kustannukset	Luotettavasti saatavilla ainakin lähivuosilta. Kirjanpitoliedot usein paremmin digitalisoituja kuin korjaushistoria, jolloin se täydentää ja tarkentaa varsinaista korjaus- ja huoltohistoriaa.	Toteutuneista kuluista saadaan hintatietoja, joita voi käyttää ennustamiseen tai vertailuun.	Luotettava ja kohtalaisen helppo lähde, josta saadaan yksinkertaisillakin menetelmillä kohtalaisen luotettavia ennusteita. Hyödynnettävyys riippuu usein kirjanpidon käytännöistä.
Suunnitellut kustannukset	Suuremmat korjaushankkeet käytännössä aina budjetoidaan. Tietoja on, mutta harvemmin ohjelmallisesti saatavilla.	Teknisten asiantuntijoiden tekemiä ennusteita voidaan verrata toteutuneisiin kustannuksiin, ja näin muodostaa parempaa kuvaa, mitkä hankkeet useimmiten poikkeavat suunnitelmista.	Yhdessä toteutuneiden kustannuksien kanssa, voidaan useilla mallinnuskeinoilla oppia erilaisten hankkeiden luonteesta, erilaisissa konteksteissa.

Kiinteistön PTS	Lain vaatima, kuitenkin harvoin käytettävässä digitaalisessa muodossa.	Lähtökohta erilaisille optimointimenetelmille. Mallia voidaan ainakin osittain validoida vertaamalla tähän.	Ei voida sokeasti luottaa PTS:ään, mutta samanlainen osa mallia kuin korjaus- ja huoltohistoria.
Asukkaiden huoltoilmoitukset ja muut ilmoitukset	Nykyään usein valmiiksi digitaalisessa muodossa, varsinkin suurilla asuntomistajilla.	Asukkaiden huolto- ja muut ilmoitukset voivat olla tärkeä osa mallia, ja tällä hetkellä kenties paras tapa saada kuvaa rakennuksen todellisesta nykytilasta ilman varsinaista kuntotarkastusta.	Oppivassa tai Bayesilaisessa mallissa huoltoilmoitukset voidaan huomioida ennusteissa. Koneoppiminen soveltuu hyvin tarpeeksi suurilla datamäärillä, jos viesteistä opitaan poimimaan oleellisia tietoja.
Kulutustiedot (lämpö, vesi, sähkö)	Vaihtelee. Lähitulevaisuudessa paremmin saatavilla, kun uudet ratkaisut yleistyvät.	Kulutustietojen hyödyntäminen vaatii usein erikoistumista, ja Suomesta löytyykin jo useampi näihin keskittyvä yritys. Potentiaalia uusiin ratkaisuihin, ei vielä osata yhdistää kokonaiskuvaan.	Reaaliaikaisen datan hyödyntäminen holistisesti vaatii syvää osaamista ja tutkimusta. Selkeitä hyötyjä löydettävissä mistä aloittaa.
Reaaliaikaiset sensoritiedot (kosteus, lämpötila)	Vielä harvinaista, mutta yleisty jatkuvasti.	Eryteisesti kosteusarvot voivat olla relevantteja mm. kalliiden kosteuson- gelmien ehkäisemiseksi.	Reaaliaikaisen datan hyödyntäminen holistisesti vaatii syvää osaamista ja tutkimusta. Selkeitä hyötyjä löydettävissä mistä aloittaa.

Julkinen data (kaavat, julkiset tietokannat)	Yksinkertaisia perustieto- ja.	Rakennuksista saatavilla oleva julkinen data rajoittuu lähinnä maantieteelliseen sijaintiin ja rakennusvuoteen, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Koko elinkaaren kannalta relevanttia tietoa on vähän.	Julkinen data voi helpottaa laaja-alaista käyttöönottoa. Pelkän rakennusvuoden ja karkean neliömäärän perusteella voisi jo mallintaa vaikka koko Suomen rakennuskannan.
---	--------------------------------	---	---

Rakennusten tietomallit (BIM)	Saatavilla osalle uusista rakennuksista, mutta ei ylläpidettä rakentamisen jälkeen.	Rakentamisen aikana syntyy erittäin tarkkoja tietomalleja. Nämä voivat tuottaa arvoa uusien rakennusten kohdalla.	Erittäin haastava ja kallis tietolähde, jonka hyödyntäminen vaatii rakennusalan erityisosaamista ja erityisohjelmistoja.
--------------------------------------	---	---	--