

# Uudet rakennusfysiikan mitoitusvuodet ajasta riippuviin simulointeihin – Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeen tuloksia

Anssi Laukkarinen<sup>1</sup>, Teemu Jokela<sup>1</sup> ja Juha Vinha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennusfysiikka

## Tiivistelmä

Rakenteiden tulee olla lämpö- ja kosteusteknisesti toimivia koko suunnitellun käyttöajan ajan. Asetettujen tavoitteiden saavuttamista voidaan arvioida laskennallisesti, mutta luotettavien tulosten saaminen asettaa myös tiettyjä vaatimuksia käytettäville menetelmille ja laskelmien lähtötiedoille. Tässä artikkelissa käsitellään uusien ajasta riippuviin simulointeihin tarkoitettujen rakennusfysikaalisten mitoitusvuosien valintaa ja käyttöä Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeen pohjalta. Uudet mitoitusvuodet korvaavat aiemmin FRAME-hankkeessa määritetyt vuodet.

## 1. Johdanto

Rakennusfysiikan laskentatarkastelut mahdollistavat rakennusten vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan arvioinnin uusissa ilmasto-olosuhteissa ja toisaalta sellaisten rakenteiden toimivuuden arvioinnin, joita ei ole vielä rakennettu. Laskennallisia tarkasteluja on mahdollista tehdä useilla eri tavoilla, mutta yksi keskeinen on käyttää valmiita ajasta riippuviin laskentatarkasteluihin tarkoitettuja laskentaohjelmia, kuten WUFI [1], Delphin [2] tai Comsol Multiphysics [3]. Tällaiset laskentamallit edellyttävät kuitenkin runsaasti lähtötietoja ja jos niitä ei ole valmiiksi käytettävissä tai niitä ei tunneta tarkasti, voi tulosten vaihteluväli olla suuri, mikä aiheuttaa epävarmuuksia tulosten tulkintaan.

Rakennusten ulko-olosuhteet eivät ole samanlaisia eri vuosina. Asian hallitsemiseksi on kehitetty erilaisia lähestymistapoja, kuten suoraan havaintodatasta laskettavat tunnusluvut [4], keskimääräistä vuotuista energiankulutusta kuvaavat tuntiaineistot [5] ja kosteusteknisesti haastavia olosuhteita kuvaavat mitoitusvuodet [6]. Käyttämällä rakenteiden suunnittelulaskelmissa ulko-olosuhteina mitoittavia olosuhteita, saadaan vähennettyä laskentatyön määrää rakennusten suunnitteluvaiheessa ja edesautettua suunnitteluratkaisulta vaaditun riittävän varmuustason saavuttamista.

Suomessa valittiin ensimmäistä kertaa rakennusfysikaaliset testivuodet vuosina 2009–2012 toteutetussa FRAME-hankkeessa [7]. Kesällä 2022 päättyneessä Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa [8] määritettiin uudet rakennusfysikaaliset mitoitusvuodet, jotka korvaavat aiemmat FRAME-hankkeen aikaiset testivuodet. Näissä hankkeissa käsitellyt ilmastolliset aineistot tuotettiin ensiksi mainitun osalta Ilmatieteen laitoksen toimesta REFI-A- ja REFI-B -hankkeissa [9], [10] ja jälkimmäisen osalta RASMI-hankkeessa [11]. Olosuhteiden mitoituksellisen luonteen korostamiseksi rakennusfysikaalisesti mitoittavia vuosia on kutsuttu RAMI-hankkeessa mitoitusvuosiksi, FRAME-hankkeessa käytetyn testivuosi-nimityksen sijaan.

Tässä kirjoituksessa käsitellään ajasta riippuviin simulointeihin tarkoitettujen uusien rakennusfysikaalisten mitoitusvuosien valintamenettelyä ja käyttöä. Artikkelin perustuu Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeeseen, jonka yhteydessä toteutettiin myös

ensimmäistä kertaa Suomessa kesäajan huonelämpötilan ja jäähdytystehontarpeen mitoituspäivien valinta Aalto-yliopiston toimesta. Lisäksi hankkeessa tuotettiin ilmakehästä alaspäin suuntautuvan pitkäaaltoisen säteilyn tuntiarvot nykyiseen ja tulevaisuuden ilmastoon yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa. Tampereen yliopiston (TAU) Korjausrakentamisen ja rakenteiden elinkaaritekniikan tutkimusryhmä valitsi mitoitusolosuhteet huokoisten kiviainespinnaisten julkisivujen tarkasteluihin. Hankkeen rakennusfysiikan osion toteutuksesta ja hankkeen koordinoinnista vastasi TAU Rakennusfysiikan tutkimusryhmä. Lisätietoja hankkeesta on saatavilla hankkeen loppuraportissa [8]. Kuukausitason laskelmiin tarkoitetuista mitoitusolosuhteista on laadittu erillinen artikkeli [12]. Rakentamisen mitoitusääät (RAMI) - hankkeen tulospaineistot ovat vapaasti saatavilla TAU Rakennusfysiikan internet-sivuilta [13].

## 2. Laskentatapausten muodostaminen

Mitoitusvuosien valinnan perusideana oli laskea läpi suuri määrä erilaisia rakenteita eri tilanteissa ja tämän jälkeen etsiä aineistosta mahdollisimman pieni määrä kokonaisia vuosia, jotka yksin tai yhdessä toimisivat mitoitusvuosina vastaaville uusille laskentatapauksille.

Mitoitusvuosien valinnassa ja käytössä laskentamallien ja -prosessien tulisi olla samankaltaiset, jotta mitoitusvuosien tavoiteltu mitoituksellinen taso pysyisi samana. Tätä varten mitoitusvuosien valinnan yhteydessä tehtyjen laskelmien toteutus pyrittiin vakioimaan nykyisin saatavilla olevan ohjeistuksen mukaiseksi, mutta kuitenkin täydentäen ohjeistusta tarvittaessa erikseen.

Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan laskentamallien muodostamisen pohjaksi valittiin standardi SFS-EN 15026 [14] sekä tämän täydentämiseksi ja laskentaprosessin ohjeistukseksi RIL 107 ja RIL 250 -julkaisuissa esitetyt ohjeet [15], [16]. Hankkeessa määritettyjä täydentäviä ohjeita on esitetty RAMI-hankkeen loppuraportin liitteessä B.6. Seuraavaan on poimittu keskeisimpiä ohjeita laskentamallien muodostamiseen liittyen:

- Laskentamallin geometria muodostetaan todellisen rakenteen mukaisilla nimellimitoilla ja laskentamallissa on mukana kaikki todellisessakin rakenteessa esiintyvät materiaalit ja kerrokset. Kolmiulotteinen geometria voidaan yksinkertaistaa kaksiulotteiseksi, mutta kaksiulotteista tapausta ei suositella yksinkertaistettavan yksiulotteiseksi.
- Laskennassa käytettävien materiaaliominaisuuksien tulisi vastata mahdollisimman hyvin tarkasteltavaa tapausta. Ensisijaisia arvoja ovat tuotekohtaiset tiedot, sitten suomalaisista rakennusmateriaaleista määritetyt materiaaliominaisuudet ja viimeisenä laskentaohjelmien materiaalikirjastoista ja yleisestä kirjallisuudesta valitut materiaaliominaisuudet. Jos laskentaohjelman materiaalikirjastossa on käytettävää tuotetta hyvin vastaava materiaali, voidaan tätä käyttää suoraan. Jos käytettävälle materiaalille ei löydy luotettavia materiaaliominaisuuksia tai nämä joudutaan kokoamaan useasta eri lähteestä, tulee tämä raportoida. Lisäksi on suositeltavaa toteuttaa laskelmien herkkyystarkasteluja.
- Laskentamallin reunaehtojen tulee sisältää kaikki keskeiset ilmiöt ja tekijät, jotka vaikuttavat tarkasteltavaan rakenteeseen. Yleisellä tasolla rakennuksen ulko-olosuhteita kuvaavat suureet ovat: ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus; sade vaakapinnalle sekä tuulen nopeus ja suunta; auringon suora ja diffuusi säteily sekä pitkäaaltoinen säteily pintaa kohti. Lämmönsiirto rakenteen sisäpinnan ja huonetilojen välillä voidaan käsitellä asettamalla ekvivalentti reunaehtolämpötila suoraan RIL 107 mukaisesti [15].
- Tulosten arviointia varten simuloinnin kesto on vähintään kaksi vuotta, alkaen kalenterivuoden alusta, ja jatkuen siihen asti, että samanlaisina vuodesta toiseen toistuvat olosuhteet ovat löytyneet. Simuloinnin valmistuttua rakenteeseen muodostuneiden olosuhteiden arviointi tehdään simuloinnin viimeiseltä vuodelta.

Hankkeen yhteydessä toteutettiin suuri määrä erilaisia vertailulaskelmia analysoitavan tulosaineiston muodostamiseksi. Yksi varioiduista muuttujista oli rakenteen ulkopuolinen rasiustaso, joka riippuu säädatatiedostoissa olevan yleisen tilanteen (ns. lentokenttäolosuhteiden) lisäksi myös rakennuspaikan olosuhteista. Paikallisen ilmaston kuvaamiseksi käytetyt rakennustyyppit ja rakennuspaikan olosuhteet on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Laskentatapausten muodostamisessa käytetyt rakennukset ympäristöineen. Kertoimet viittaavat standardin SFS-EN ISO 15927-3 mukaiseen viistosateen laskentaan [17].*

Rakennus	Korkeus	z, m	Ympäröivä maasto	Maasto-luokka	$C_R$ , -	$C_T$ , -	$O$ , -	$W$ , -
Pientalo	Matala (1 krs.)	3	Suojaisa	3	0,72	1,0	0,5	0,3
Pientalo	Korkea (2 krs.)	6	Avoin	1	1,09	1,0	1,0	0,5
Kerrostalo	Matala (3 krs.)	9	Suojaisa	3	0,75	1,0	0,5	0,3
Kerrostalo	Korkea (16 krs.)	48	Avoin	1	1,44	1,0	1,0	0,5

Simuloinneissa käytetyt rakenteet on esitetty RAMI-loppuraportin liitteessä B.1. Niin kutsuttuja päärakennetyyppejä olivat: puurankaseinä puuverhouksella, puurankaseinä tiiliverhouksella, hirsiseinä, betonisandwich-elementti, rapattu eristeharkkoseinä, eristerapattu betoniseinä, peltivilla-pelti -elementti ja kaksi erilaista yläpohjarakennetta. Neljä ensiksi mainittua rakennetta muodostivat selkeästi suurimman osan lasketuista tapauksista, koska näissä rakenteissa laskentaajat olivat maltillisia ja kyseisten rakenteiden osalta tulosten tulkinta oli selkeintä. Kaikkia ulkoseinä-rakenteita tarkasteltiin sekä etelän että pohjoisen suuntaisina. Lisäksi vertailutapauksia tehtiin auringonsäteilyn matalalla ja korkealla absorptiokertoimella. Tarkastelutapauksia oli yhteensä 393 kpl.

Ilmatieteen laitoksen tuottamissa RASMI-aineistoissa oli saatavilla ulko-olosuhteiden olosuhdemuuttujia neljältä paikkakunnalta (Sodankylä, Jyväskylä, Jokioinen ja Vantaa) ja neljältä eri 30-vuotisjaksolta (mennyt 1989–2018 -ilmasto, 2030-ilmasto, 2050-ilmasto ja 2080-ilmasto). Lisäksi tulevaisuuden ilmasto-olosuhteiden ennusteet olivat saatavissa kolmelle eri RCP-skenaariolle (RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5). Näin ollen yksittäisiä vuosia oli yhteensä  $4 \cdot 30 \cdot (1 + 3 \cdot 3) = 1200$  vuotta. Kukin tarkastelutapaus laskettiin läpi kaikilla 1200 vuodella. Laskenta tehtiin Tampereen tieteellisen laskennan keskuksen (TCSC) Narvi-laskentaklusterissa.

RAMI-hankkeessa täydennettiin RASMI-hankkeen aineistoja ilmakehästä alaspäin suuntautuvan pitkäaaltosäteilyn tuntiarvojen osalta. Menneen vertailukauden 1989–2018 osalta Ilmatieteen laitoksella oli käytettävissä mitattuja pitkäaaltosäteilyn arvoja, joita käytettiin Euroopan keskipitkien sääennusteiden keskuksen ECMWF:n tuottamien ERA5-uusanalyysiaineistojen soveltuvuuden arviointiin Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden toimesta. ERA5-aineistojen todettiin vastaavan mittausarvoja hyvin, joten ERA5-aineistoja voitiin käyttää pitkäaaltosäteilyn tuntiarvoina vuosien 1989–2018 jaksolle. Tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin pitkäaaltosäteilyn tuntiarvot määritettiin kouluttamalla eri koneoppimismalleja RASMI- ja ERA5-uusanalyysiaineistojen avulla ja tämän jälkeen käyttämällä parhaan ennustetarkkuuden mallia tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin. Mitoitusvuosien valinnassa käytettiin aiemmin valitulla, kirjallisuudessa esitetyllä mallilla laskettuja tuntiarvoja, kun taas lopullisiin mitoitusvuosiin tuntiarvot päivitettiin ERA5- ja koneoppimismallitarkastelujen tuloksista.

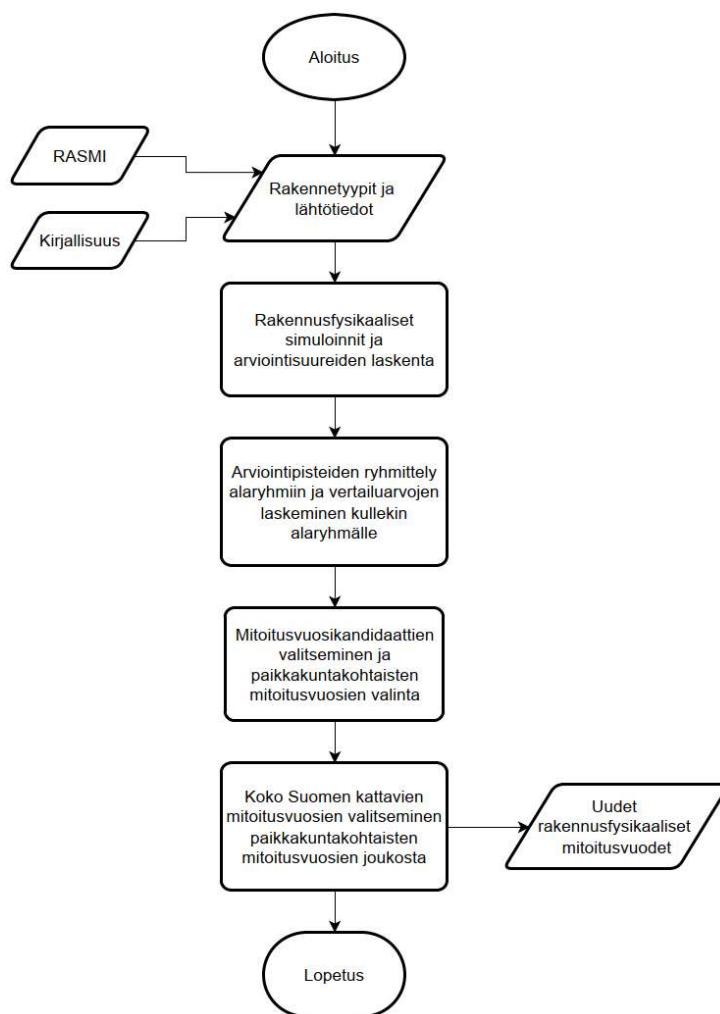
Vuosien rakenteisiin aiheuttaman rasiustason arviointia varten tuloksista laskettiin Suomalaisen homemallin mukainen homeindeksin maksimiarvo  $M_{max}$  kunkin rakenteen merkityksellisistä arviointipisteistä sekä tasapainokosteuskäyrän suhteellista kosteutta 95 % RH ylittävä kosteuden määrän maksimi  $\Delta m_{95}$  päälämmöneristekerroksen uloimmasta kerroksesta, tuulensuojakerroksen

sisäpinnasta ja päälämmöneristekerroksen sisäosasta höyrynsulkukerroksen ulkopuolelta. Aiemmissa tutkimuksissa homeindeksi on todettu usein kosteuden määrää tiukemmaksi vaatimukseksi, mutta jälkimmäistä seurattiin eri vuosien vaikutuksista tietoa antavana suurena sekä sellaisia tilanteita varten, jolloin homeindeksin maksimiarvo ei ole mitoittava suure.

### 3. Mitoitusvuosien valinta ja ohjeita niiden käyttöön

#### 3.1 Tarkastelutapausten jako alaryhmiin ja mitoitusvuosien valinta

Simulointien jälkeen lasketut tapaukset jaettiin alaryhmiin, ja alaryhmien mukaisista tuloksista etsittiin pienintä mahdollista määrää sellaisia vuosia, jotka olisivat käyttökelpoisia mitoitusvuosia kaikille alaryhmille. Ajasta riippuviin simulointeihin tarkoitettujen mitoitusvuosien valintaprosessia on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Ajasta riippuvissa simuloinneissa käytettävien mitoitusvuosien valintaprosessi.

Mitoitusvuosien valinnan alussa kunkin arviointisuureen arvot (esim.  $M_{max}$ ) koottiin omiin taulukoihinsa, joissa sarakkeina olivat kaikkien rakenteiden kaikki tarkastelupisteet ja riveinä RASMI-aineiston mukaiset vuodet (1200 kpl). Tulokset jaettiin ensin päärakennetyypin ja ilmansuunnan mukaisiin alaryhmiin (pohjoisen suuntaiset puuverhotut puurankaseinät, jne.).

Tämän jälkeen alaryhmiin kuuluvat tarkastelupisteet jaettiin uudelleen pienempiin alaryhmiin scikit-learn -kirjaston

AgglomerativeClustering() ja KMeans() -ryhmittelyalgoritmien avulla. Tämän vaiheen tarkoituksena oli selvittää, oliko päärakennusilmansuunta-alaryhmissä vielä erillisiä alaryhmiä, joita voisi ja tulisi hyödyntää mitoitusvuosien valinnassa ja että kuinka hyvin eri mitoitusvuosien kriittisyysjärjestys korreloi eri alaryhmien tulosten kesken. Tulosten perusteella arvioitiin, että tulosaineistossa oli alaryhmiä esimerkiksi tarkastelupisteiden sijainnista

rakenteessa riippuen, mutta koneoppimisalgoritmit pystyivät tunnistamaan nämä ryhmät. Lisäksi ryhmien tulokset korreloivat keskenään hyvin tai melko hyvin. Tämä oli hyvä asia mitoitusvuosien valinnan kannalta, koska tällöin yksittäiset vuodet olivat samalla kertaa haastavimpien joukossa useissa eri tilanteissa.

Mitoitusvuosien valinnassa tavoitteena oli valita vuosi tai vuodet, jollaisten mukainen rasiustaso rakenteissa esiintyisi keskimäärin noin kerran kymmenessä vuodessa. Kyseinen tavoite on esitetty julkaisuissa [6], [14] ja kyseinen toistuvuusaiakatavoite oli käytössä myös aiemmassa FRAME-hankkeessa [7]. Vuodet oletettiin olevan arvioitavissa toisistaan erillään, jolloin kymmenen vuoden toistuvuus aika tarkoittaa samalla  $P = 1/10 = 10\%$  todennäköisyyttä sille, että kyseisen tasoinen vuosi esiintyisi tietynä vuotena. Yhdessä 30-vuotisjaksoissa mitoitavia tai sitä kriittisempiä vuosia olisi keskimäärin  $0,1 \cdot 30 \text{ kpl} = 3 \text{ kpl}$ , eli 30 vuoden joukosta kolmanneksi kriittisin vuosi olisi ensisijainen ehdokas mitoitusvuodeksi. Tämän taustan takia tulokset jaettiin edelleen paikkakuntakohtaisiin alaryhmiin, koska paikkakuntien välillä huomattiin olevan olennaisia eroja. Jos kaikkia paikkakuntia olisi arvioitu yhdessä ryhmässä, olisivat mitoitusvuodet valittu 12. ( $0,1 \cdot 120 = 12$ ) kriittisimmän vuoden ympäristöstä. Tällöin tietyissä tilanteissa olisi käynyt niin, että haastavimpien olosuhteiden mukaisella paikkakunnalla olisi päädytty noin  $12 / 30 = 40\%$  esiintymistodennäköisyyteen, kun taas tavoitteena oli tiukempi mitoituskellinen taso eli  $10\%$  keskimääräinen esiintymistodennäköisyys.

Mitoitusvuosien valintaa olennaisesti helpottava havainto oli, että vuosien kriittisyysjärjestys pysyi melko hyvin samana eri 30-vuotisjaksojen kesken. Alaryhmiin jakamisen ja 30-vuotisjaksojen samankaltaisuuden ansiosta vuosien kriittisyysjärjestystä kuvaavat vertailuarvot laskettiin laskemalla ensin vuosikohtainen (300 kpl) mediaani kaikista kuhunkin alaryhmään kuuluvasta tapauksesta ja tämän jälkeen uudelleen mediaani viiden tärkeimmäksi arvioidun 30-vuotisjakson mediaaneista (mennyt ilmaston 1989–2018 sekä skenaariot RCP4.5 ja RCP8.5. Näillä toimenpiteillä kunkin päärakennetyypin, ilmansuunnan, koneoppimisalgoritmeilla muodostetun alaryhmän sekä paikkakunnan mukaiset tulokset saatiin käsiteltyä 30 vertailuarvon avulla.

Kun alaryhmäkohtaiset vuosien vertailulukujen tulokset olivat selvillä (30 kpl per alaryhmä), kustakin alaryhmästä valittiin viisi haastavinta vuotta paikkakuntakohtaisiksi mitoitusvuosikandidaateiksi. Rakenteiden ulko-osien  $M_{max}$  ja  $\Delta m_{95}$  -arvojen lisäksi mitoitusvuosikandidaatit valittiin myös rakenteiden sisäosien homeen kasvun, sekä huokoisten kiviaines pohjaisten julkisivumateriaalien pakkasrapautumisen ja betoniterästen korroosion tarkastelujen osalta. Kahden jälkimmäisen suureen osalta mitoitusvuosikandidaatit olivat 10 haastavinta vuotta kultakin paikkakunnalta ja nykyilmaston olosuhteista.

Mitoitusvuosikandidaattien listaamisen jälkeen näistä etsittiin manuaalisesti vuosia, jotka yksin tai yhdessä kattaisivat paikkakuntakohtaisesti eri mitoitustilanteet. Keskeisenä tavoitteena oli varmistaa mitoitusvuosien mitoitavuus eri tarkastelutapauksiin, mutta samalla pitää mitoitusvuosien lukumäärä mahdollisimman pienenä. Mitoitusvuosikandidaatteja vertailtaessa hyödynnettiin myös aiemmin määritettyjä alaryhmäkohtaisia arviointisuureiden vertailukuja ja näistä laskettuja järjestyslukuja.

### **3.2 Paikkakuntakohtaiset mitoitusvuodet ja koko Suomen kattavat homeen kasvun mitoitusvuodet**

Tarkastelujen perusteella ei ollut löydettävissä yksittäistä vuotta, joka olisi voitu luotettavasti nimetä vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan mitoitusvuodeksi kaikille rakenteille ja mitoitustilanteille. Kaikki mitoitustilanteet saatiin kuitenkin katettua paikkakuntakohtaisesti käyttämällä kahta tai tietyssä tilanteessa kolmea vuotta. Paikkakuntakohtaisiksi mitoitusvuosiksi valittiin seuraavat vuodet, minkä lisäksi suluissa on paikkakunnan edustama ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukainen säävyöhyke [18].

- Sodankylä (Säävyöhyke IV)
  - Homeen kasvu, kosteuden määrä ja betoniterästen korroosio: 2015
  - Homeen kasvu korkeiden ( $\geq 2$  krs) tiiliverhottujen puurankaseinien sisäosissa, pakkasrasitus: 2014
- Jyväskylä (Säävyöhyke III)
  - Homeen kasvu, betoniterästen korroosio: 2011
  - Homeen kasvun riski korkeiden ( $\geq 2$  krs.) tiiliverhottujen puurankaseinien sisäosissa, kosteuden määrä, pakkasrasitus: 1996
- Jokioinen (Säävyöhyke II)
  - Homeen kasvu (kaikki tarkastelut), pakkasrasitus, betoniterästen korroosio: 2011
  - Kosteuden määrä: 2017
- Vantaa (Säävyöhyke I)
  - Homeen kasvu rakenteen ulko-osissa, betoniterästen korroosio: 2017
  - Kosteuden määrä, pakkasrasitus: 2004
  - Homeen kasvu rakenteiden sisäosissa: Jokioinen 2011

Edellä olevaan listaukseen liittyvä erikoisuus on Jokioinen 2011 -vuoden käyttäminen Vantaan olosuhteille mitoitusvuotena. Tässä on syynä, että Vantaan paikkakunta-kohtaisten mitoitusvuosiehdokkaiden joukossa ei ollut vuosia, jotka olisivat olleet mitoittavia korkeiden tiiliverhottujen puurankaseinien sisäosien homeenkasvun lisäksi myös muille tarkastelutapauksille. Näin ollen tämän tilanteen kattaminen olisi edellyttänyt yksittäisen mitoitusvuoden valitsemista vain tälle tarkasti rajatulle tapaukselle, mikä olisi ollut vuosien yleiskriittisyystavoitteen vastaista.

Toinen huomionarvoinen seikka mitoitusvuosien valinnassa on, että yllä olevassa listauksessa ei ole eritelty tarkastelutapauksia pohjois- ja eteläsuunnan mukaan. Tämä oli mahdollista, koska aineistosta löytyi tiettyjä vuosia, jotka olivat mitoitusvuosikandidaatteja samalla kertaa molempiin ilmansuuntiin. Tämä selkiyttää mitoitusvuosien käyttöä myös silloin, kun tarkastelu suunta poikkeaa selkeästi pohjois- tai eteläsuunnasta.

Edellä oleva listaus mahdollistaa mitoitusvuosien valinnan, mutta mitoitusvuosien käytön selkeyden kannalta järjestelmää olisi hyvä edelleen yksinkertaistaa. Asettamalla homeen kasvun mitoitusaste haastavimman paikkakunta-kohtaisen mitoitusvuoden mukaan, voidaan mitoitusvuodet nimetä seuraavasti:

- Homeen kasvu vaipparakenteissa
  - Tehdään laskelmat aina käyttäen vähintään mitoitusvuotta Jokioinen 2011
  - Jos kyseessä on betonisandwich-ulkoseinä tai sisäpuolelta lisälämmöneristetty hirsiseinä, tehdään tarkastelut myös mitoitusvuoden Jokioinen 2017 avulla
  - Jos kyseessä on tiiliverhottu puurankaseinä ( $\geq 2$  krs.), tehdään homeen kasvun tarkastelut myös mitoitusvuoden Vantaa 2017 avulla
- Kosteuden määrän rajoittaminen (kun homeen kasvu ei ole mitoittava kriteeri)
  - Paikkakunta-kohtaisten mitoitusvuosien mukaan
- Julkisivujen pakkasrasitus ja betoniterästen korroosio
  - Nykyilmastolle paikkakunta-kohtaisten mitoitusvuosien mukaan
  - Tulevaisuuden ilmastolle RAMI-loppuraportin mukaan.

Mitoitustarkastelujen tarkoituksena on, että rakenne on toimiva koko suunnitellun teknisen käyttöajan ajan. Tällöin, jos ilmastonmuutoksen ennakoidaan heikentävän rakenteen rakennusfysikaalista toimivuutta, käytetään laskelmissa käyttöajan loppuajankohdan mukaisia

kriittisimpiä ilmasto-olosuhteita. Esimerkiksi, jos tarkastellaan kantavien rakenteiden tai näihin välittömästi liittyvien materiaalien homeriskistä 50 vuoden suunnitellulla teknisellä käyttöiällä, tulee rakenteen olla toimiva mitoitusvuoden ”Jokioinen 2011 RCP8.5-2080” -olosuhteissa. Jos lämpötilojen nousun myötä nykyilmasto on tietyllä tapauksessa mitoittava, käytetään tällöin nykyilmaston 1989–2018 mitoitusvuosia. Epäselvissä tapauksissa tehdään herkkyystarkasteluja eri tilanteiden välillä. Laskentatuloksia raportoitaessa käytetty vuosi tulee nimetä.

Uusien mitoitusvuosien mitoituksellisesta tasosta on esitettyjä vertailuja RAMI-hankkeen loppuraportin liitteissä. Mitoituksellisen tason muuttumisessa oli eroja eri rakennetyyppien kesken ja osa muutoksista riippui tarkasteluissa käytettävien 30-vuotisjakson muuttumisesta, osa ilmastonmuutosennusteiden päivittymisestä ja osa mitoitusvuosien valintajärjestelmän muuttumisesta. Yleisesti ottaen mitoituksellinen taso joko pysyi samana aiempaan FRAME-hankkeeseen valittuihin vuosiin nähden tai kiristyi hieman.

#### **4. Yhteenveto**

Rakenteiden rakennusfysikaaliset laskentatarkastelut mahdollistavat uusien rakenneratkaisujen ja materiaalien toimivuuden arvioimisen ennen käyttöönottoa, ja toisaalta tuttujen rakenteiden tarkastelemisen uusissa ilmasto-olosuhteissa. Rakennuksiin valittavien ratkaisujen tulee olla asetetut vaatimukset täyttäviä koko suunnitellun käyttöajan ajan, minkä seurauksena rakenteiden toimivuutta tulisi arvioida kaikissa käyttöajan aikana esiintyvissä olosuhteissa tai käyttää mitoittavia vuosia, jotka kattavat suurella todennäköisyydellä kaikki käyttöajan aikana esiintyvät olosuhteet.

Rakentamisen mitoitusväylät (RAMI) -hankkeessa valittiin uudet ulko-olosuhteiden mitoitusvuodet, jotka korvaavat aiemmat FRAME-hankkeeseen valitut rakennusfysikaaliset mitoitusvuodet. Lisäksi hankkeeseen määritettiin ensimmäistä kertaa Suomessa huoneilman kesäaikaisen lämpötilan ja jäähdytystehontarpeen mitoituspäivät.

Uusien mitoitusvuosien valintaa varten pyrittiin ensin yksilöimään laskentamallien toteutustapa, jonka jälkeen toteutettiin runsaasti erilaisia herkkyystarkasteluja kustakin tarkastellusta päärakennetyypistä. Nyt valitut vuodet olivat mitoittavia useille eri rakenteille ja tarkastelutapauksille, josta syystä uusien vuosien arvioidaan soveltuvan useisiin eri mitoitusvuosiin, käytettäessä aiemmin kuvattuja tavallisia laskentamenetelmiä. Jos käytetyt laskentamenetelmät poikkeavat aiemmin esitetyistä esimerkiksi ilma- tai sadevuotojen tai kemiallisten reaktioiden huomioon ottamisen osalta, voidaan harkintaa käyttäen uusia mitoitusvuosia käyttää myös näihin tarkasteluihin. Tällöin on kuitenkin suositeltavaa tehdä vertailulaskelmia ensin perustason mallilla ja tämän jälkeen kehittyneemmällä mallilla, jonka jälkeen arvioida tuloksista uusien toiminnallisuuksien huomioon ottamisen vaikutuksia tavoiteltavaan mitoitukselliseen tasoon.

Uusien mitoitusvuosien käytön kannalta on tärkeää muistaa, että laskentatarkastelut ovat vasta yksi mahdollinen osa rakenteiden suunnittelua. Vaikka laskentatarkastelujen avulla saadaankin tuotettua teknisiä lukuarvoja päätöksenteon tueksi, tarvitaan lisäksi myös laadullista kokonaisratkaisun arviointia. Hyvässä suunnitteluratkaisussa saadaan sovitettua kattavasti yhteen eri tavoitteita laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi.

## Lähdeluettelo

- [1] WUFI, WUFI Software family. Fraunhofer Institut für Bauphysik. [Verkossa]. <https://wufi.de/en/>
- [2] Delphin, Bauklimatik Dresden Software GmbH. [Verkossa]. <https://bauklimatik-dresden.de/index.php?aLa=en>
- [3] COMSOL Multiphysics, COMSOL AB. [Verkossa]. <https://www.comsol.com/>
- [4] WMO (2017) WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. World Meteorological Organization, WMO-No. 1203, 2017. [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=20130#.Xznu2ChKg2x](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130#.Xznu2ChKg2x)
- [5] SFS-EN ISO 15927-4:2005. Hygrothermal performance of buildings. Calculation and presentation of climatic data. Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling. SFS ry.
- [6] Sanders, C (1996) Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts. Final Report. Volume 2. Task 2: Environmental conditions. KU Leuven, Belgium, IEA Annex 24 (HAMTIE).
- [7] Vinha, J., ym. (2013) Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, Tutkimusraportti 159, 2013. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8>
- [8] Laukkarinen, A., ym. (2022) Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet : RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Tampere, Tutkimusraportti 3, 2022. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>
- [9] Jylhä, K., ym. (2011) Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. REFI-A -hankkeen loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2011:6, 2011. <http://hdl.handle.net/10138/33069>
- [10] Ruosteenoja K, Jylhä K, Mäkelä H, Hyvönen R, Pirinen P, & Lehtonen I (2013) Rakennusfysiikan testivuosien sääaineistot havaitussa ja arvioidussa ilmastossa : REFI-B -hankkeen tuloksia. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2013:1 <http://hdl.handle.net/10138/38648>
- [11] Jylhä, K., ym. (2020) Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:6. <http://hdl.handle.net/10138/321164>
- [12] Laukkarinen A, Jokela T & Vinha J (2023) Rakentamisen mitoitusääät (RAMI) -hankkeessa määritetyt uudet rakennusfysikaaliset mitoitusolosuhteet. Julkaisussa *Sisäilmastoseminaari 2023, SIY Raportti 41*, Helsinki: Sisäilmayhdistys ry, 2023, s. 6 s.
- [13] TAU Rakennusfysiikka, ”Rakennusfysikaaliset mitoitusvuodet (2022)”. [Verkossa] <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/kosteusanalysointimenetelma/rakennusfysikaaliset-mitoitusvuodet-2022/>
- [14] SFS-EN 15026:2007. Hygrothermal performance of building components and building elements. Assessment of moisture transfer by numerical simulation. SFS ry.
- [15] RIL 107-2022 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. ril ry, 2022.
- [16] RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. ril ry, 2020.
- [17] SFS-EN ISO 15927-3:2009. Hygrothermal performance of buildings. Calculation and presentation of climatic data. Part 3: Calculation of driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. SFS ry.
- [18] Ympäristöministeriö (2017) Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. YM 1010/2017. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>