

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta
Statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet

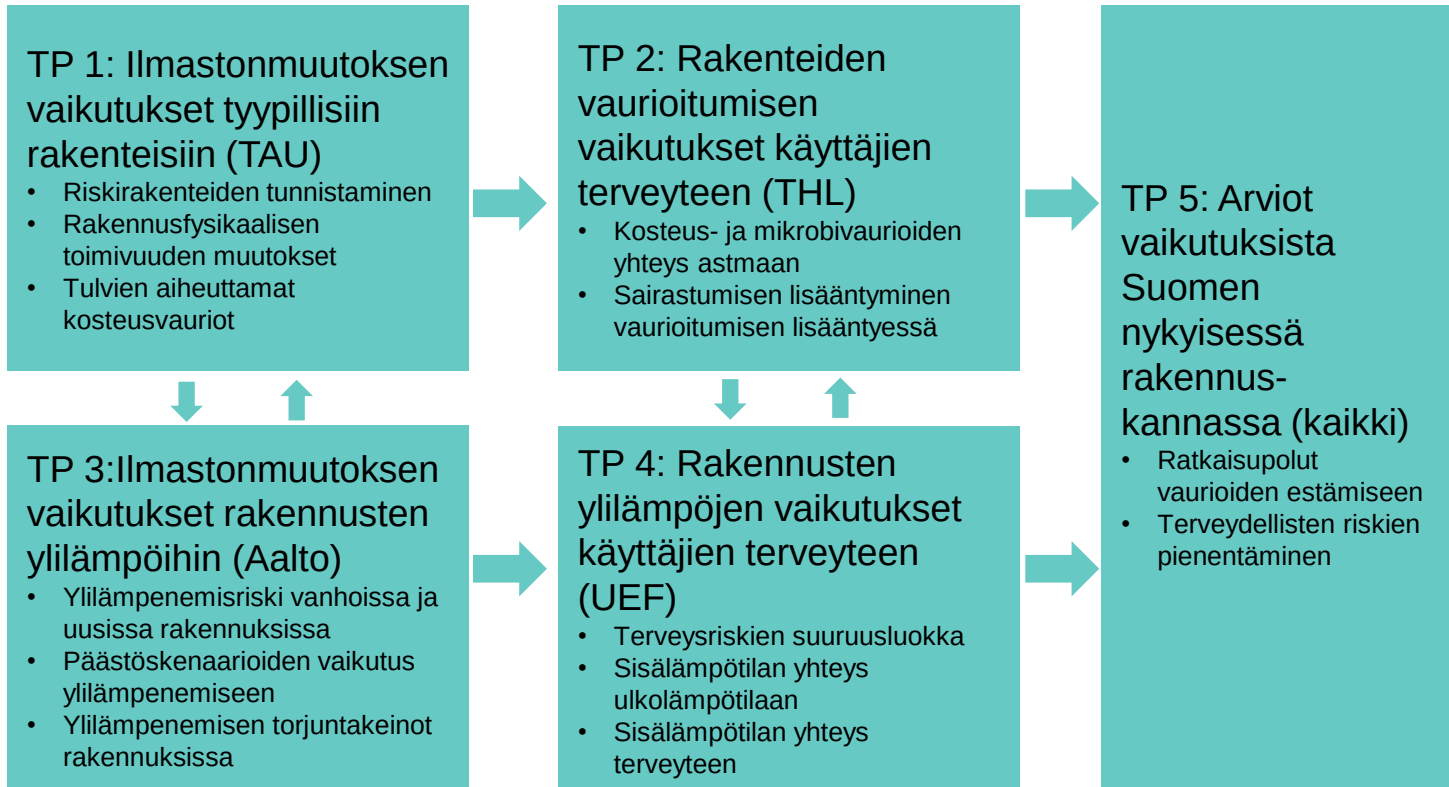
Rakennusten kosteusvauriot ja ylilämpeneminen muuttuvassa ilmastossa – RAIL

Hankkeen loppuseminaari

11.01.2023 | Jukka Lahdensivu

Tutkimuksen tavoitteet

- Hankkeella on viisi keskeistä tavoitetta:
 - 1) selvittää ilmastonmuutoksen seurauksena nykyiseen rakennuskantaan aiheutuvaa erilaisten rakennusten ja rakenteiden vaurioitumista Suomessa,
 - 2) selvittää kosteus- ja mikrobivaurioiden vaikutuksia rakennusten käyttäjien terveyteen,
 - 3) selvittää ilmastonmuutoksen vaikutuksia jäähdyttämättömien rakennusten lämpötilojen nousuun ja lämpöviihtyisyyteen,
 - 4) selvittää sisätilojen lämpötilan nousun vaikutuksia rakennusten käyttäjien terveyteen ja
 - 5) tarkastella ratkaisupolkuja rakennusteknisten ja terveydellisten riskien pienentämiseen.



Tutkimusryhmä

- **Tampereen yliopisto (TAU):**

- Jukka Lahdensivu, Toni Pakkala, Jussa Pikkuvirta, Aapo Räsänen, Santtu Alastalo

- **Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL):**

- Anne Karvonen, Martin Täubel, Juha Pekkanen, Miina Juntunen

- **Aalto-yliopisto (Aalto):**

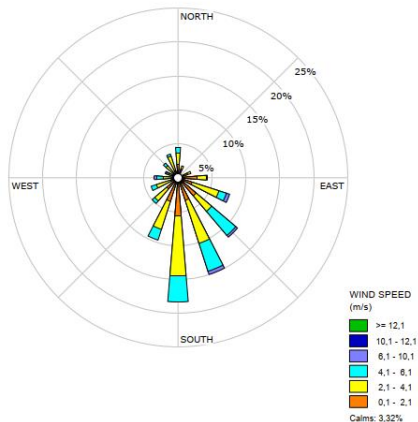
- Azin Velashjerdi Farahani, Juha Jokisalo, Risto Kosonen, Kirsti Jylhä (IL)

- **Itä-Suomen yliopisto (UEF):**

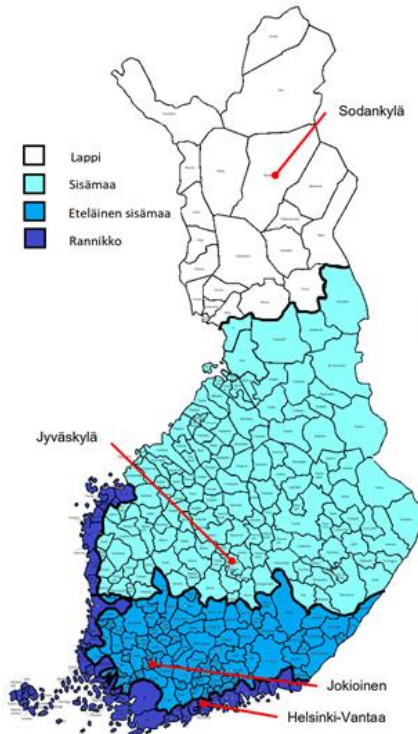
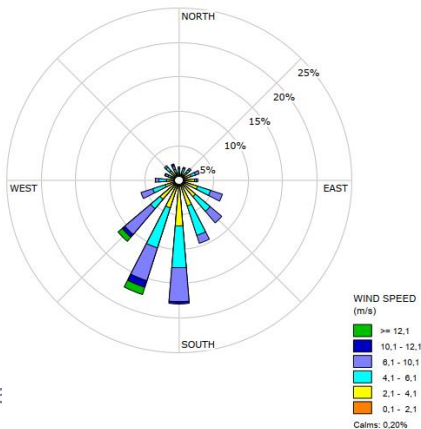
- Timo Lanki, Olli Leino, Virpi Kollanus

ennusjakauma Suomessa

Jyväskylän lentoasema
9/2000-4/2005



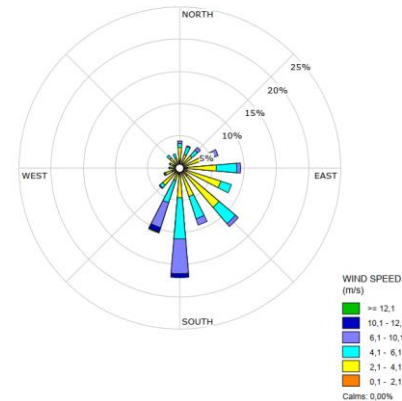
Helsinki-Vantaan lentoasema
9/2000-4/2005



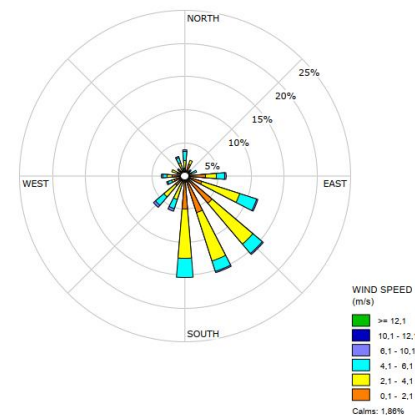
Väestö,
yhteensä (2019) 5 486 530



Rovaniemen lentoasema
9/2000-4/2005

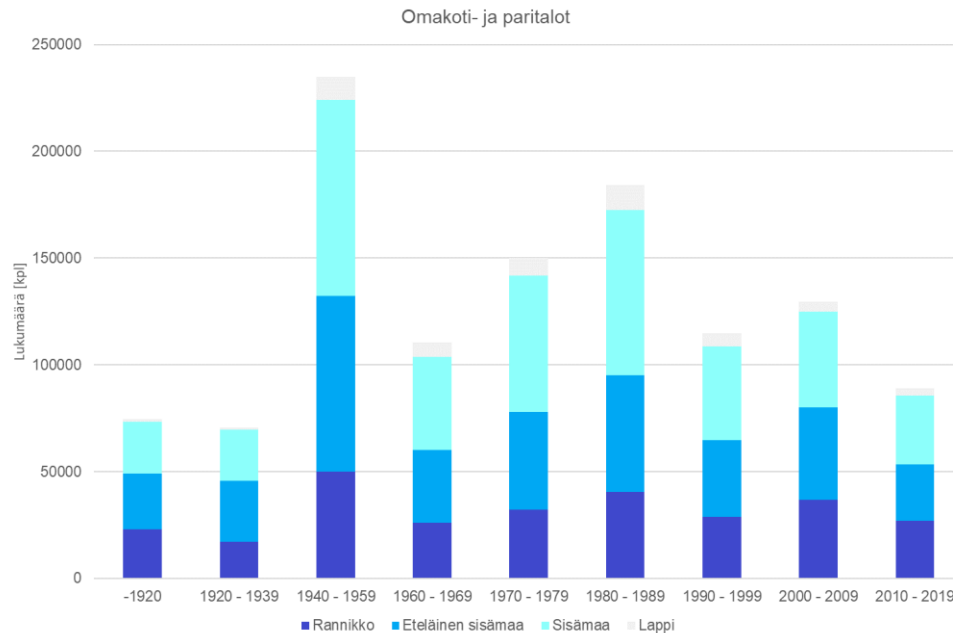


Oulun lentoasema
9/2000-4/2005



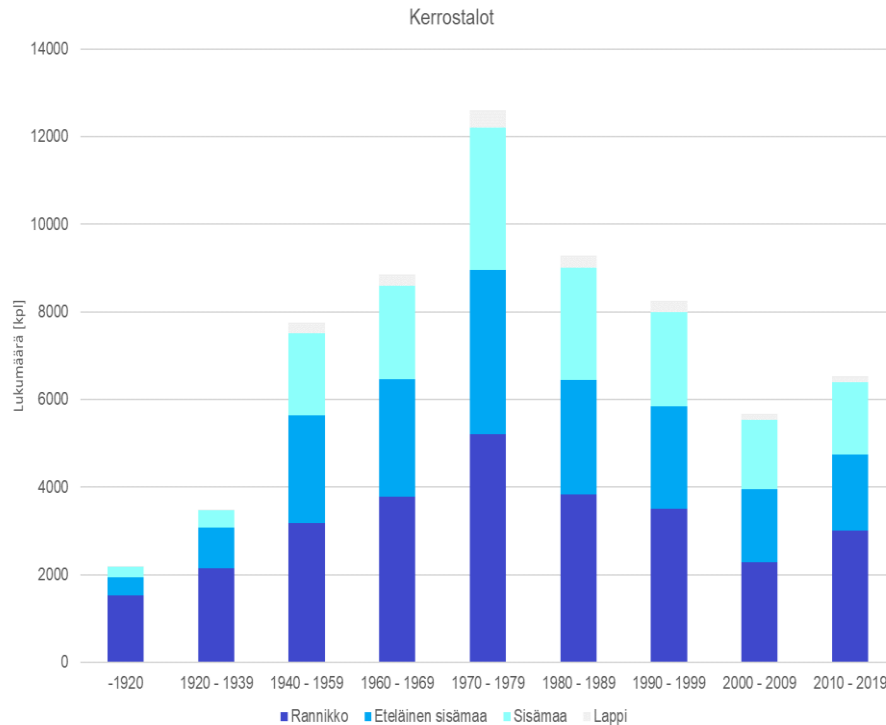
Omakotitalot, lukumäärä

Rakennuksia 1 158 228 kpl
Aukkaita 1 047 013 kpl



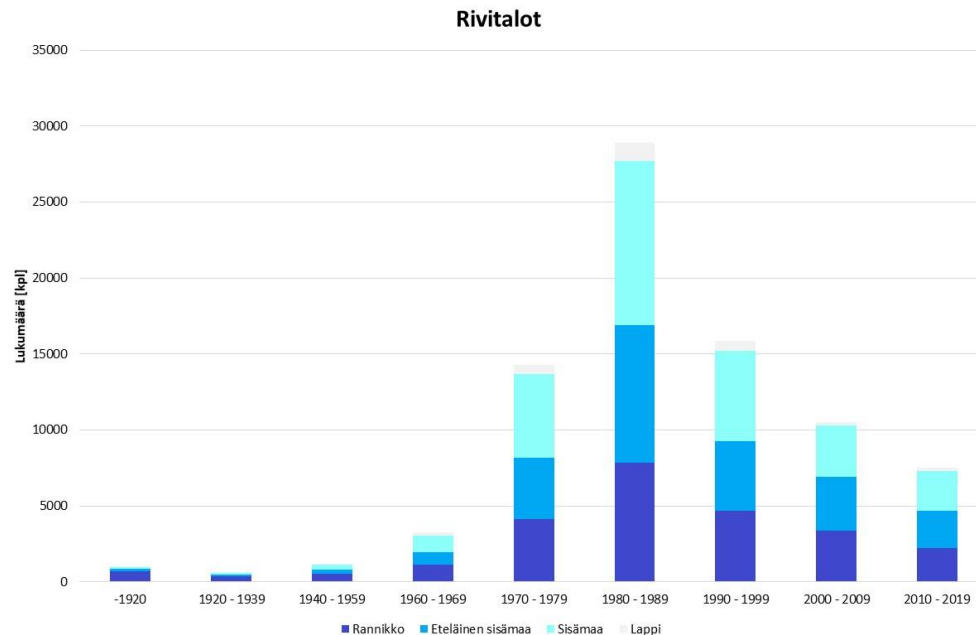
Kerrostalot, lukumäärä

Rakennuksia 64 636 kpl
Asukkaita 1 272 616 kpl



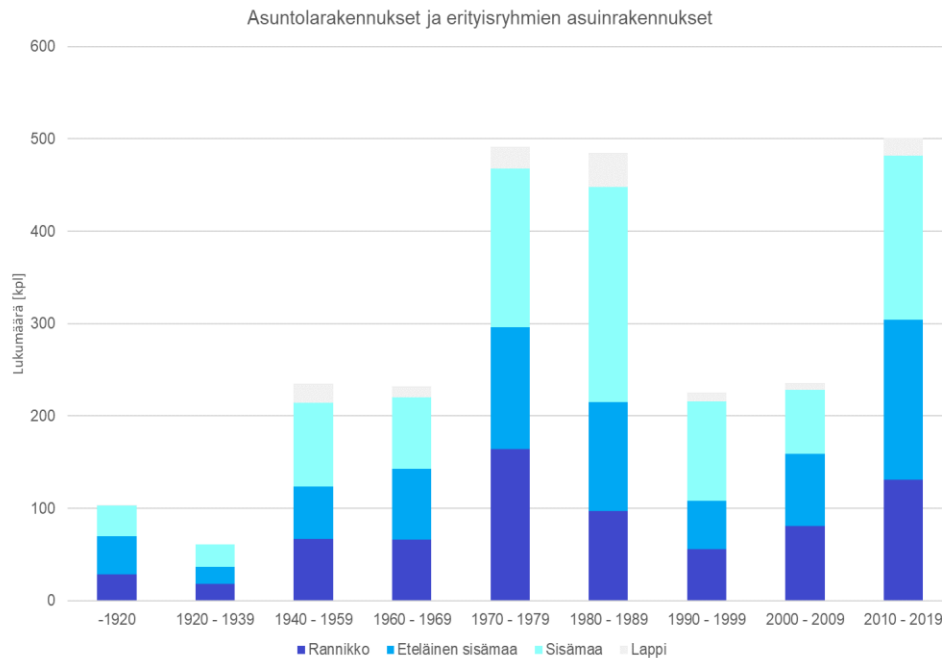
Rivitalot, lukumäärä

Rakennuksia 83 052 kpl
Asukkaita 371 578 kpl



Asuntolat ja erityisryhmät, lukumäärä

Rakennuksia 2 570 kpl
Asukkaita ?



Ilmastomuutoksen vaikutukset tyypillisiin rakenteisiin

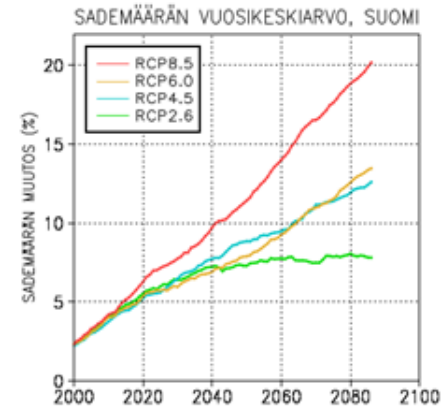
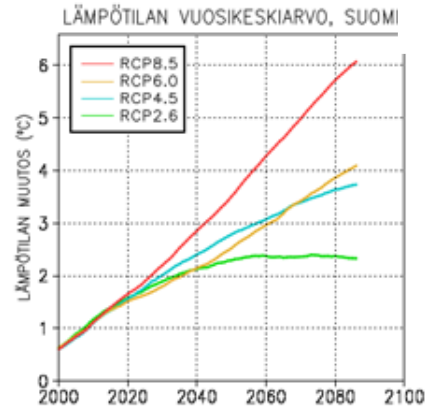
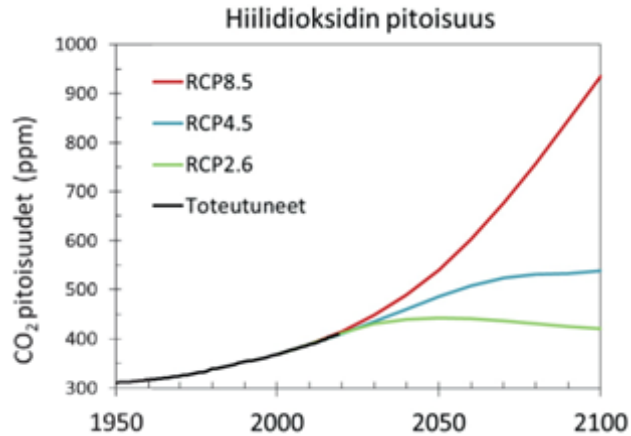
Toni Pakkala, tutkijatohtori
Tampereen yliopisto
Rakenteiden korjaaminen ja elinkaaritekniikka

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta
Statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet

Sisältö

- Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen
- Kosteus- ja mikrobivauriot rakennuskannassa
- Rakenteiden säilyvyys muuttuvassa ilmastossa
- Tulvien aiheuttamat riskit rakennuksille

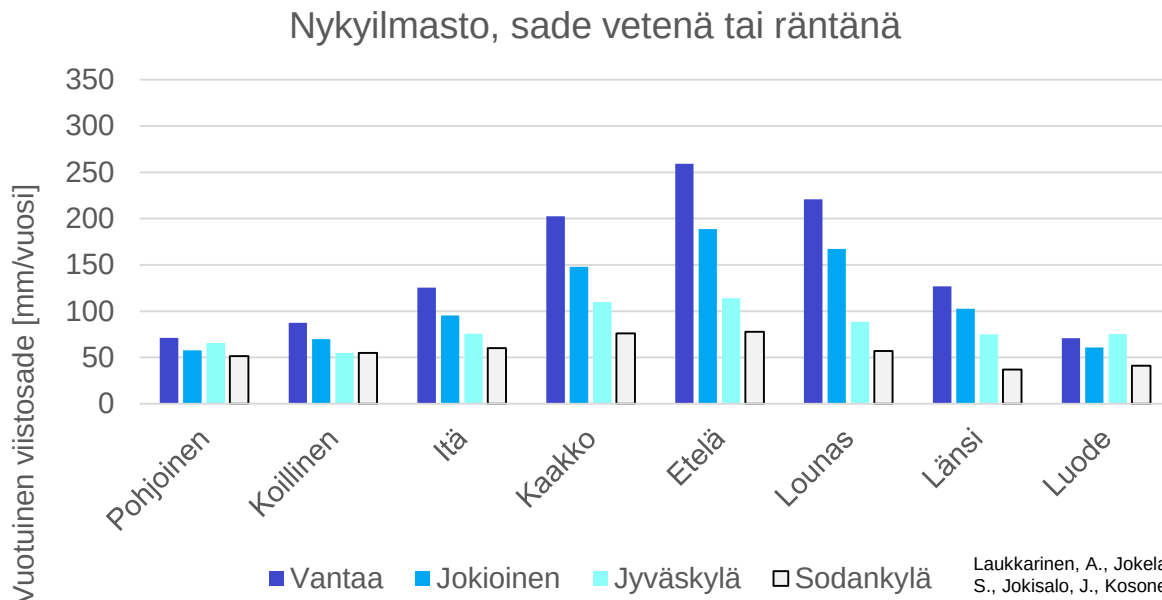
Ilmastonmuutosennusteet



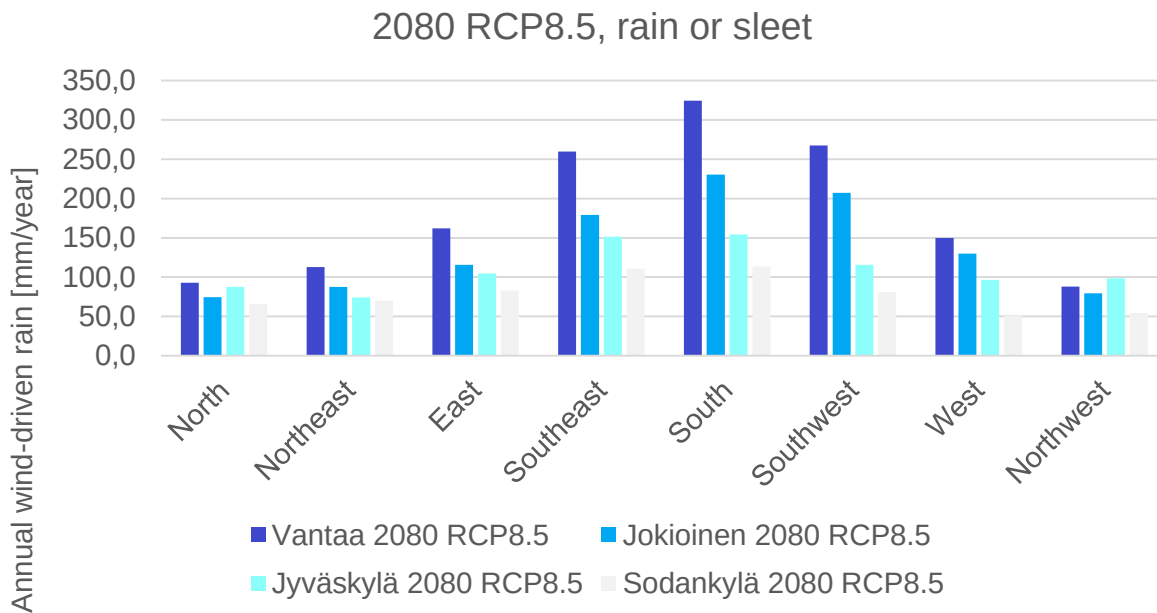
Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Bökk, H., Lindfors, A., Pirinen, P., Laapas, M., Mäkelä, A., 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säättietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energia-laskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:6. DOI: <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361287>

Ruosteenoja, K., 2013. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot (SETUKLIM) 1.osahanke. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

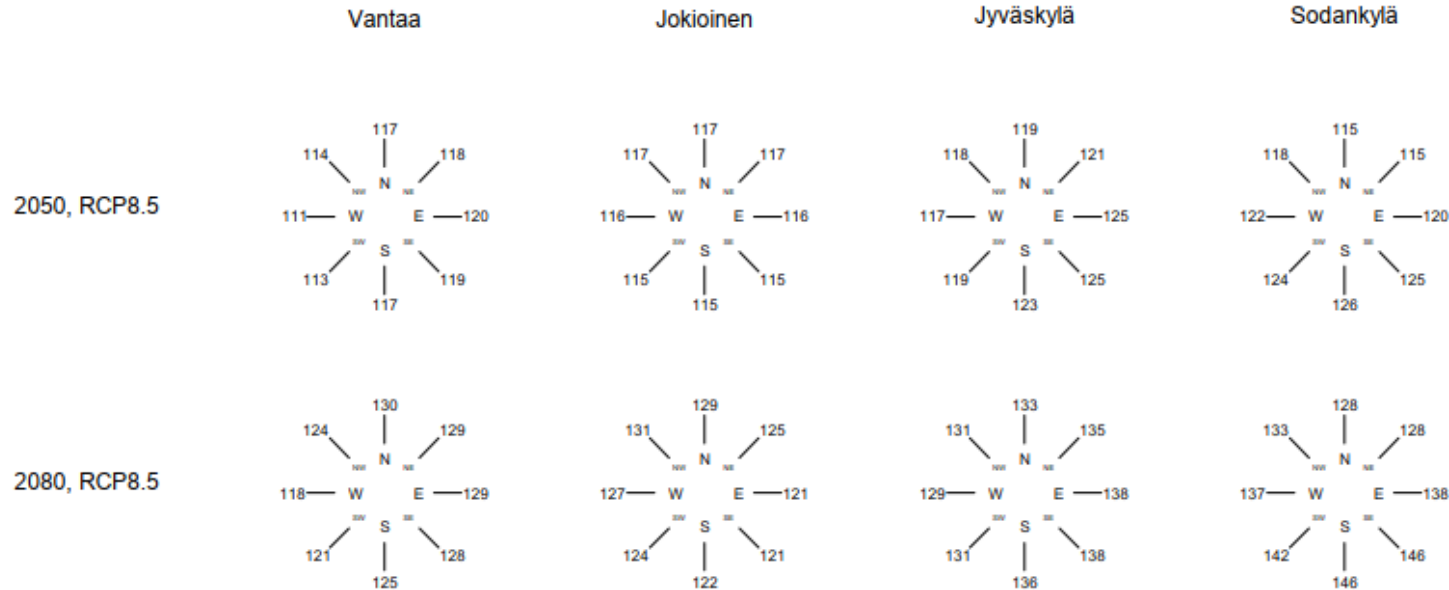
Viistosademäärät, nykyilmasto



Viistosademäärät, RCP8.5 2080



Viistosademäärän suhteellinen kasvu



Laukkarinen et al. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet – RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Rakennustekniikka, Tutkimusraportti 3. Tampere. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

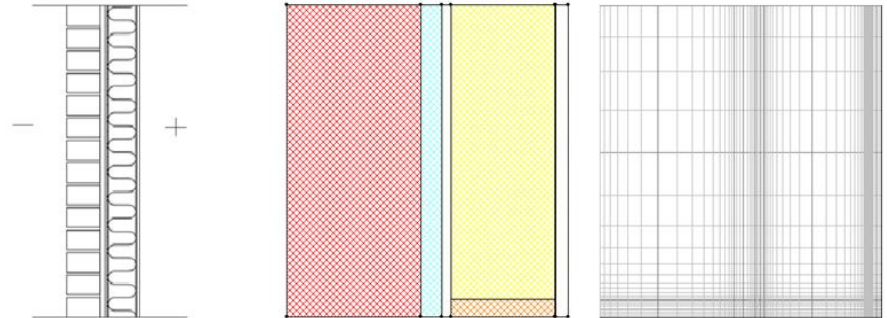
- Käytetty Suomalaista homemallia (saatavissa: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>)
- Laskenta WUFI-2D (4.3) –laskentaohjelmalla hyödyntäen RASMI-hankkeen säädatatietoja
- Simuloitu 30 vuoden pituisia aikajaksoja nyky- sekä tulevaisuuden ilmastossa (RCP8.5 2050, RCP4.5 2080, RCP8.5 2080)
- Laskettu kunkin 30 laskentavuoden maksimihomeindeksi
- Arvioitu todennäköisyyttä homeenkasvulle nykyilmastossa sekä lisäksi ilmastomuutoksen vaikutusta vertailemalla tuloksia nyky- ja tulevaisuuden ilmastoissa

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

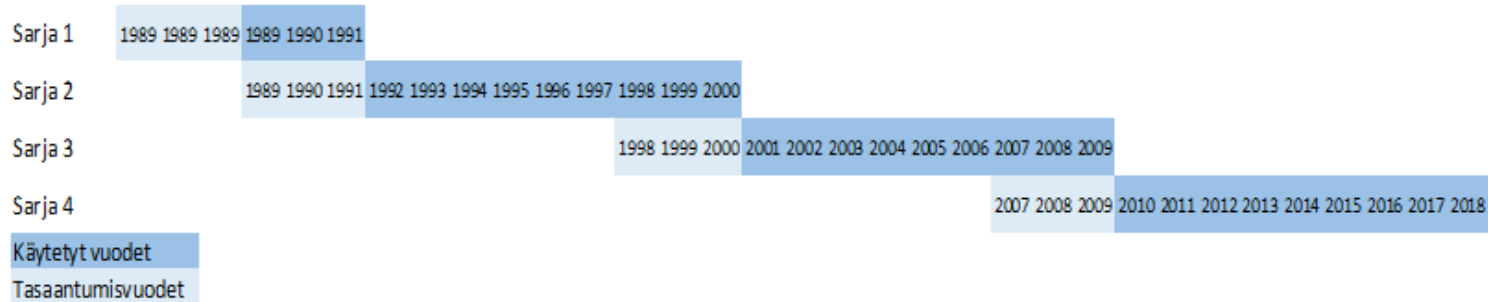
- Tutkimukseen on sisällytetty seuraavat tyypilliset julkisivurakenteet:
 - tiilimuurattu puurunkoinen ulkoseinärakenne
 - tiili-villa-tiili-ulkoseinärakenne
 - tiili-villa-betoni-ulkoseinärakenne
 - betonisandwich-ulkoseinärakenne
 - ohutrappaus-eristejärjestelmä
 - puu- ja levyverhoiltu puurunkoinen ulkoseinärakenne

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

- Laskentatarkastelussa on varioitu seuraavia ominaisuuksia:
 - huokoisten materiaalien vedenimuominaisuudet
 - lämmöneristepaksuus
 - lämmöneristemateriaali
 - höyrynsulku
 - pinnoitteet ja maalit
 - tuuletusvälit / -urat ja niiden ilmanvaihtuvuus
 - tuulensuojalevyn materiaali



Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen



Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

Homeindeksi [M]	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla), useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu	Alle 10 %:n peitto alasta (silmillä)
	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 50 %:n peitto alasta (mikroskoopilla)
4	Selvä silmin havaittava kasvu	Uusia itiöitä alkaa muodostua
		Yli 10 %:n peitto alasta (silmillä)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 %:n peitto alasta (mikroskoopilla)
		Yli 50 %:n peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 %:n peitto, tiivis kasvusto

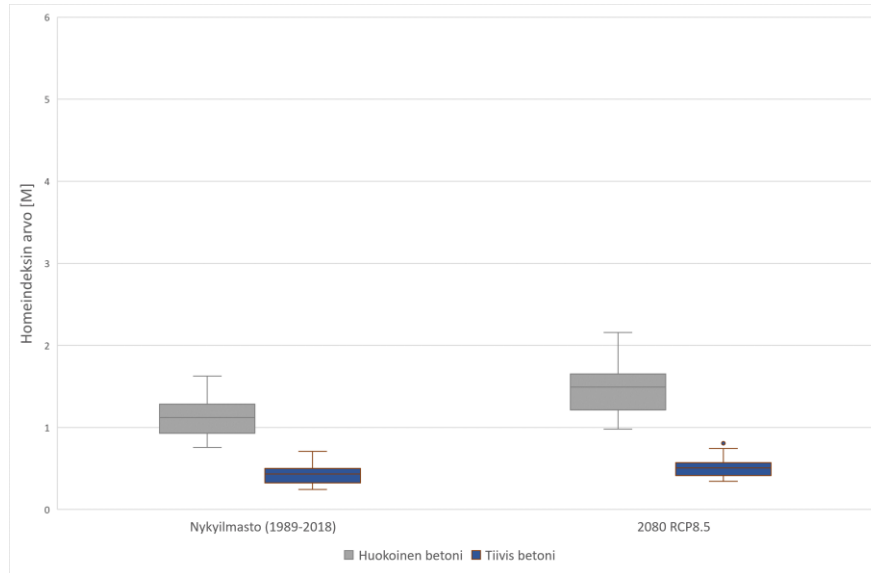
Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

Homehtumisherkkyyssluokka		Esimerkkejä rakennusmateriaaleista
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara, höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL4	Kestävä	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita huomesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

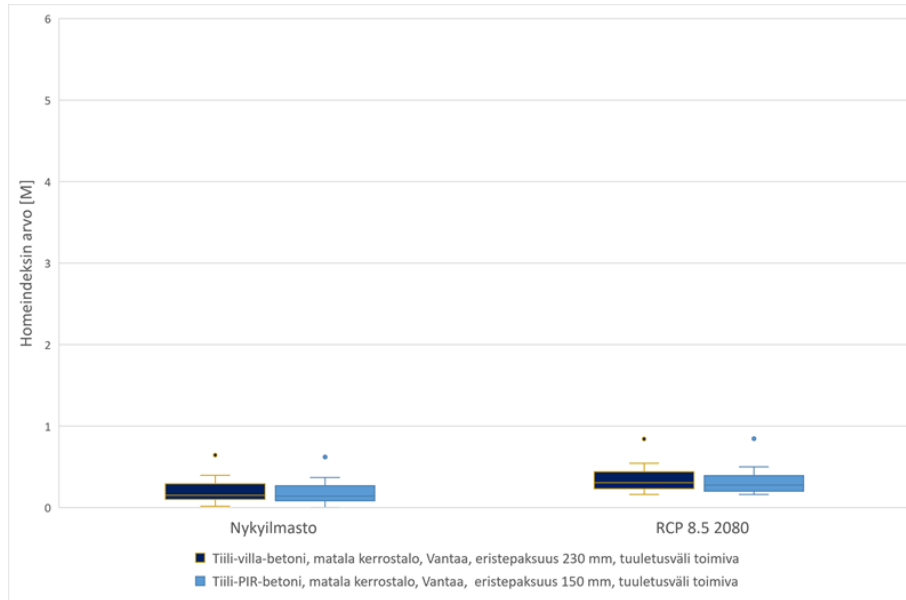
Homeindeksin vuoden maksimiarvo [M] 30-vuoden tarkastelussa	Riski homeenkasvulle rakenteessa	Värikoodi
Mediaani > 3	Erittäin merkittävä	
Ylin 75 persentiili > 2	Merkittävä	
Mediaani > 2	Kohtalainen	
Ylin 75 persentiili > 1	Vähäinen	
Mediaani > 1	Erittäin vähäinen	
Mediaani < 1	Epätodennäköinen	

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen



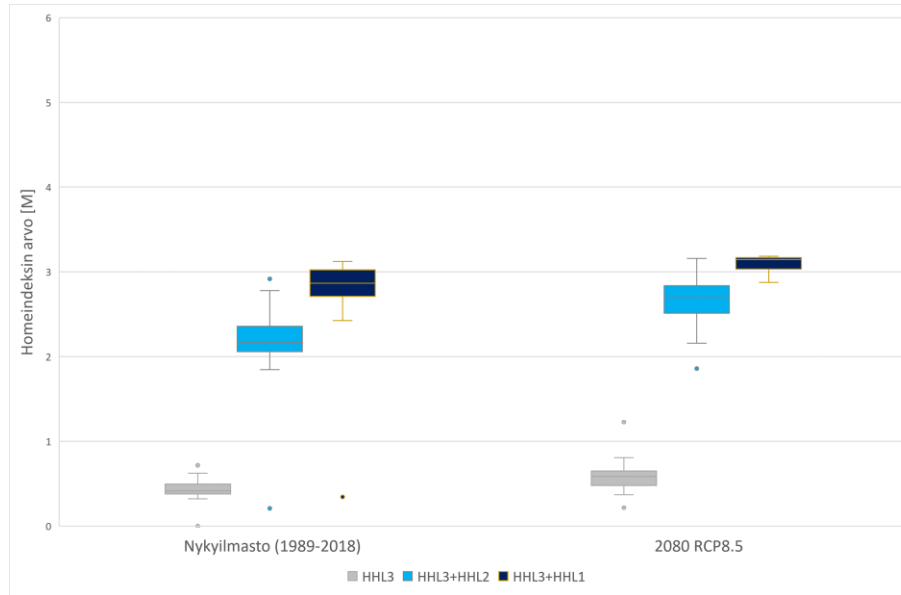
30 yksittäisen vuoden maksimihomeindeksien kertymät eteläjulkisivulla nyky- ja RCP8.5 2080 -ilmastossa Vantaalla sijaitsevan betonisandwich-rakenteisen korkean kerrostalon eteläjulkisivun tapauksessa, kun eristepaksuutena on käytetty 250 mm ilman tuuletusuria.

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen



30 yksittäisen vuoden maksimihomeindeksien kertymät Vantaalla nyky- ja RCP8.5 2080 -ilmastoissa tiili-villa-betoni- ja tiili-PIR-betoni-rakenteisten matalien kerrostalojen tapauksissa, kun tuuletusväli on oletettu toimivaksi

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen



30 yksittäisen vuoden maksimihomeindeksien kertymät eristeen ulkopinnassa Vantaalla nyky- ja RCP8.5 2080 -ilmastossa tiilimuuratun puurunkoisen pientalon tapauksessa, kun eristepaksuutena on käytetty 200 mm + 30 mm tuulensuojavilla ja tuuletusvälissä on laastipurseita.

Kosteusteknisten riskirakenteiden tunnistaminen

Homeindeksin vuoden maksimi-arvo [M] 30-vuoden tarkastelussa	Riski homeenkasvulle rakenteessa	Värikoodi
Mediaani > 3	Erittäin merkittävä	
Ylin 75 persenttiili > 2	Merkittävä	
Mediaani > 2	Kohtalainen	
Ylin 75 persenttiili > 1	Vähäinen	
Mediaani > 1	Erittäin vähäinen	
Mediaani < 1	Epätodennäköinen	

Rakenne	Nykyilmasto	Tulevaisuuden ilmasto
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja erittäin homeutumisherkkä (HHL1)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja erittäin homeutumisherkkä (HHL1) (suojattu tuulensuojavillalla)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2) (suojattu tuulensuojavillalla)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 200 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL1)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 100 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL1)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 200 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)		
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 100 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)		
Tiili-villa-tiili/betoni, matalat kerrostalot, ei tuuletusväliä		
Tiili-villa-tiili, matalat kerrostalot eristepaksuus 250 mm, tuuletusvälissä laastipurseita		
Tiili-villa-tiili, matalat kerrostalot eristepaksuus 60-100mm, tuuletusvälissä laastipurseita		
Tiili-villa-tiili, pientalot, ei tuuletusväliä		
Hyvin suurella vesihöyrynvastuksella pinnoitettu betonisandwich-rakenne ilman tuuletusuria		
Betonisandwich-rakenteet ilman tuuletusuria, vedenimuominaisuuksilta hyvin voimakkaat betonit(esim. pesubetoni)		
Betonisandwich-rakenteet heikoilla tuuletusurilla, vedenimuominaisuuksilta hyvin voimakkaat betonit(esim. pesubetoni)		
Betonisandwich-rakenteet ilman tuuletusuria, vedenimuominaisuuksilta voimakkaat betonit (esim. C20/25)		
Tuulettumaton purulla eristetty omakoti talo huonosti vesihöyryä läpäisevällä maalilla		

Kosteus- ja mikrobivauriot rakennuskannassa

Nykyilmasto

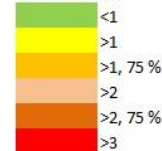
Kerrostalot

	-1920	1920-1939	1940-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
massiivitiiliseinä	2178	3484	6205	2215					
siporex + tiiliseinä			776	443					
siporex + betoniseinä				886					
betonisandwich-elementti				2658	8697	6405	6604	3407	3269
paksurappauselementti					756	371	1238	1136	1308
ohurappauselementti							826	1136	1961
tiili-villa-betoniseinä			388	1329	2143	2321			
levy-villa-betoniseinä			388	1329	1008	186			
Rakennusten kokonaismäärä	2178	3484	7756	8859	12605	9283	8668	5678	6538
Homeindeksi >1 [%]			5	45	86	94			

Omakoti-, pari ja rivitalot

	-1920	1920-1939	1940-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
hirsiseinä	75456	71205							
puurunko + purueriste + lautaverhous			236039	22765					
puurunko + mineraalivillaeriste + lautaverhous				68294	80600	89510	91394	98120	96412
puurunko + mineraalivillaeriste + levyverhous				11382	4935	2131			
tiili + villa + tiili				11382	16449				
betonisandwich-elementti					3290	46886			
puurunko + mineraalivillaeriste + tiiliverhous					59216	74592	39169	42051	
Rakennusten kokonaismäärä	75456	71205	236039	113824	164490	213120	130563	140171	96412
Homeindeksi >1 [%]					38	57	30		

Homeindeksi



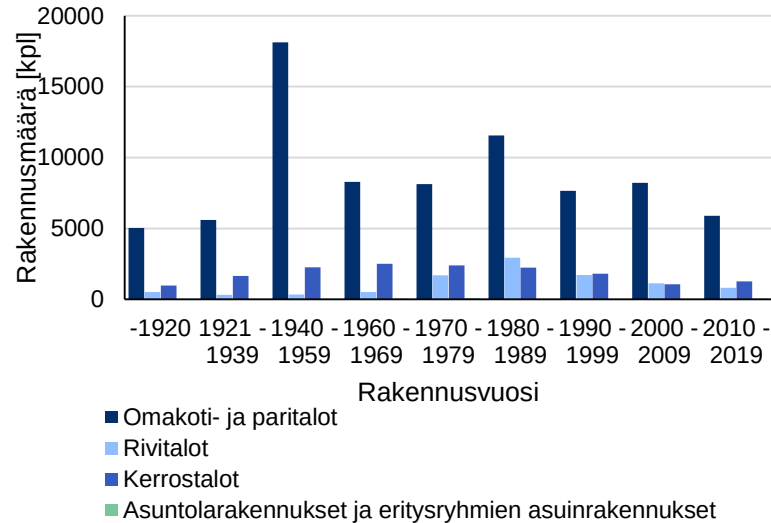
Suomen asuinrakennuskannan homeindeksit eri ulkoseinäarakenteilla nykyilmastossa vuosikymmenittäin jaoteltuna. Lukuarvot ovat rakennusten lukumääriä

Rakenteiden säilyvyys muuttuvassa ilmastossa

Sijainti	Nyky-ilmasto [mm/vuosi]	2050 [mm/vuosi]			2080 [mm/vuosi]		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Rannikko	583	635	646	676	638	668	729
Eteläinen sisämaa	445	484	497	514	487	512	551
Sisämaa	331	369	380	401	372	398	443
Lappi	227	248	262	275	251	277	313

Keskimääräiset vuotuiset viistosademäärät (vetenä) eri sijainneilla nyky- ja tulevaisuuden ilmastossa. Keltaisella on merkitty määrät, jotka ylittävät 400 mm/vuosi, jota on pidetään Norjassa rajana a) kuorimuurin tuuletusaukkojen lisäämisen tarpeelle (Kvande ja Lisø 2009) sekä b) ohutrappaus-eristejärjestelmän käytön suositukselle (Kvande ym. 2018).

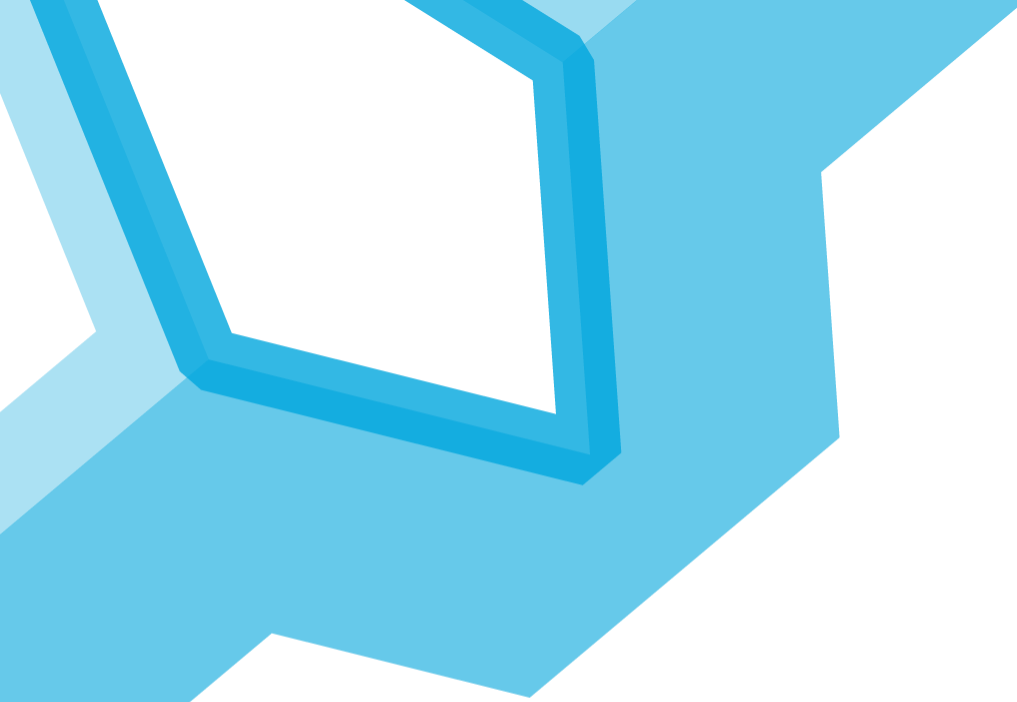
Rakenteiden säilyvyys muuttuvassa ilmastossa



Merkittävien tulvariskialueiden rakennustyyppien lukumäärä alueilla, joiden tulvariski kasvaa vuoteen 2100 mennessä.

Yhteenveto

- Suurin osa Suomessa yleisesti käytettävistä ulkoseinärakenteista toimii rakennusfysikaalisesti hyvin sekä nykyisessä että tulevassa ennustetussa ilmastossa
 - Jos toimii nykyilmastossa, lähtökohtaisesti toimii myös tulevaisuuden ilmastossa
- Hyvän rakennusfysikaalisen toimivuuden edellytyksiä ovat
 - ulkoverhouksen takana oleva avoin tuuletusrako
 - viistosadetta heikosti läpäisevä julkisivupinta
 - heikosti homehtuvat materiaalit
- Korkean homehtumisriskin rakenteita yhdistää mm. seuraavat piirteet:
 - päästävät viistosadetta lävitseen ja pidättävät vettä rakenteen huokosverkostossa (tiili, läpäisevä betoni)
 - rakenteen tuuletus on heikkoa
 - jonkin rakenneosan homehtumisherkkyyoluokka on matala (HHL1)
- Rakenteiden säilyvyyden kannalta oleellista on, että säälle alttiissa rakenteissa kosteus ei joko pääse kertymään rakenteisiin tai jos pääseekin, se pääsee myös kuivumaan



Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta
Statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet

Kiitos!

Lisätietoja: jukka.lahdensivu@tuni.fi