

ePOOKI

OULUN AMMATTIKORKEAKOULUN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖN JULKAISUT ISSN 1798-2022

ePooki 81/2020

Sääolosuhteiden paine-erovaikutukset korkeissa rakennuksissa

Pyörälä Harri, Rautiainen Martti

14.10.2020 ::

2010-luvulla kaupunkien rakenne on kasvanut huomattavasti ylöspäin ja Suomeenkin on rakennettu yli 12-kerroksisia tornitaloja, jotka ovat korkeudeltaan usein 50–100 metriä. Rakennuksen korkeuden kasvaessa tuulen ja lämpötilaerojen vaikutukset voimistuvat ja varsinkin lämpötilaerojen vaikutukset ovat talviaikaan Suomen ilmastossa huomattavia. Paine-erot rakenteiden ylitse aiheuttavat erinäisiä ongelmia, joiden hallinta on tärkeä osa korkeiden rakennusten suunnittelua.

Paine-eroista syntyvät ongelmat

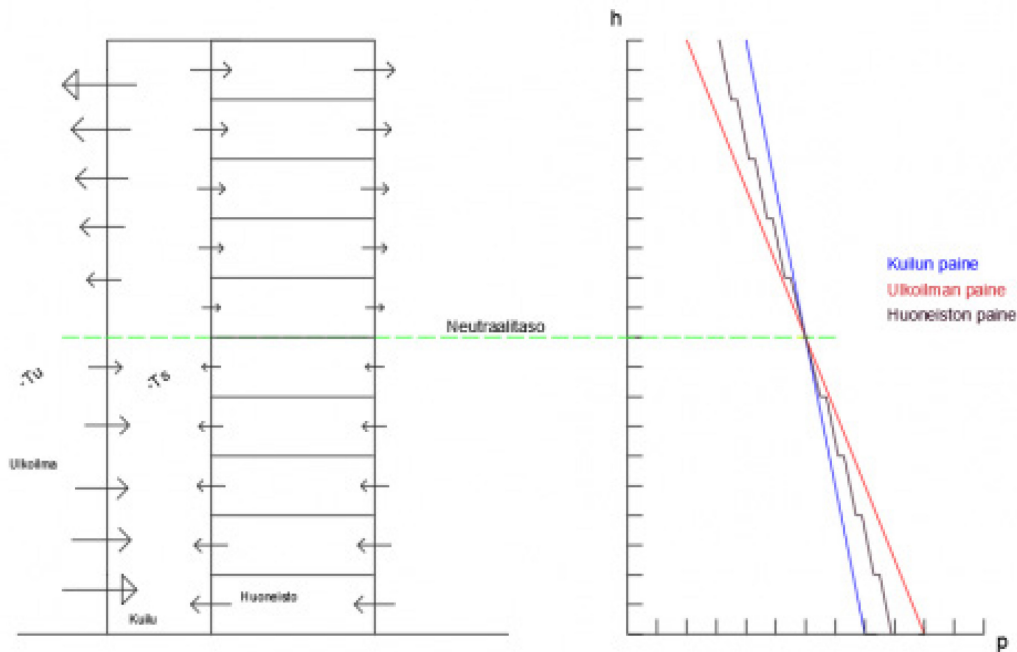
Paine-erot rakenteiden ylitse aiheuttavat ilmavirtauksia epätiivissä liitoksissa ja muissa vuotoilmareiteissä. Vuotoilmavirrat voivat aiheuttaa ääniongelmia, vedon tunnetta sekä epäpuhtauksien leviämistä, ja mahdollisessa tulipalotilanteessa sisäiset vuotoilmareitit mahdollistavat savun leviämisen rakennuksessa. Varsinkin alemmissa kerroksissa kylmän vuotoilman vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen on huomattava. Ylipaine rakennuksen sisällä aiheuttaa lämpimän sisäilman virtauksen seinärakenteen vuotoilmareittien kautta ulkoilmaan, ja talvitilanteessa vuotoilman sisältämää kosteutta saattaa tiivistyä rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurioriskin. Ääritapauksissa korkeat paine-erot voivat estää ovia avautumasta. ^[1]

Lämpötilan vaikutus

Merenpinnan korkeudessa vallitseva noin 101 kPa:n ilmanpaine syntyy päällämme olevasta ilmapatsasta. Ilmapatsaan aiheuttaman paineen määrittää ilman tiheys, maan vetovoima ja ilmapatsaan korkeus. Noustaessa korkeammalle ilmakehässä yläpuolella olevan ilman määrä vähenee ja ympärillä vallitseva paine laskee. Ilman tiheys laskee lämpötilan kasvaessa, minkä vuoksi lämmitetyissä rakennuksissa on kylmällä ilmalla havaittavissa niin sanottu hormivaikutus eli rakennuksen korkeuden kasvaessa tiheydeltään eroavat ilmapatsaat ulko- ja sisäilman välillä synnyttävät alipaineen rakennuksen alaosiin.

Rakennuksen alaosissa vallitseva alipaine aiheuttaa ilman sisäänvirtauksen paineiden pyrkiessä tasoittumaan. Lämmin ilma nousee ylöspäin kasvattaen painetta rakennuksen yläosissa, mikä aiheuttaa rakennuksen yläpäässä vuotoilman ulosvirtauksen. Tällöin rakennuksen yläosissa vallitsee ylipaine, alaosissa alipaine ja keskitasolla paineet vaipan molemmilla puolin ovat yhtä suuret. Tätä keskitasoa voidaan kutsua neutraalitasoksi. ^[2]

Hormivaikutus vaatii syntyäkseen ilmapatsaan. Rakennuksen merkittävät ilmapatsaat sijaitsevat kuiluissa, kuten hisseissä ja porraskäytävissä. Kuilujen ja ulkoseinien välillä on kuitenkin virtausvastuksia, jolloin kaikki kuilujen ja ulkoilman välinen paine-ero ei vaikuta rakennuksen ulkoseinien ylitse (kuvio 1).



KUVIO 1. Hormivaikutuksen aiheuttamat paine-erot rakennuksessa [\[1\]](#)

Tuulen vaikutus

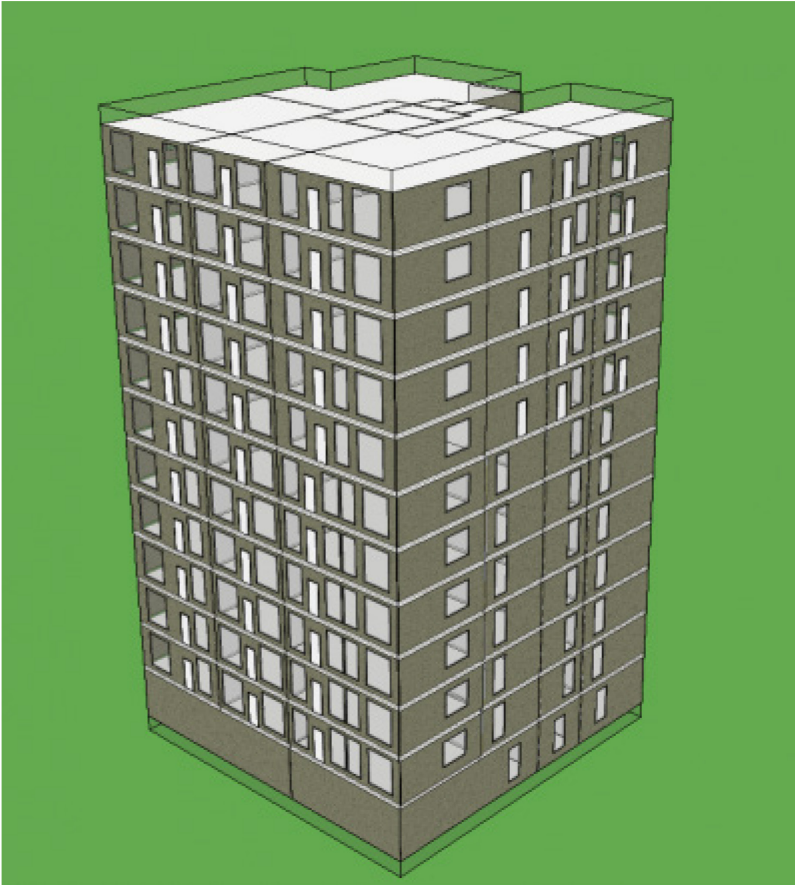
Toinen rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavista luonnollisista voimista on ilman liikkeen aiheuttama dynaaminen paine rakennuksen ulkoseinille. Tuulen aiheuttaman paineen suuruus riippuu tuulen nopeudesta ja sen suunnasta rakennuksen pintoihin nähden. Tuulen nopeus kasvaa korkeuden mukaan ja se on suurin yksittäinen tekijä tuulen aiheuttaman paine-eron syntymisessä.

Kohtisuorassa tuulessa ilmavirta aiheuttaa tuulenpuoleiselle ulkoseinälle ylipaineen (sisäänvirtaus) ja kolmelle muulle seinämälle alipaineen (ulosvirtaus), kun taas hormivaikutus aiheuttaa rakennuksen yläosiin ulosvirtausta. Ylemmissä kerroksissa lämpötilan ja tuulen yhteisvaikutus on siis kolmella seinämällä samansuuntainen ja yhdellä sivulla tuuli vastustaa lämpötilaerojen aiheuttamaa paine-eroa. Kun rakennuksen yläosissa voimistuva tuuli aiheuttaa ulosvirtauksen kolmelle rakennuksen julkisivuista, kerroskohtaiset vuotoilmavirrat eivät ole tasapainossa ja korvaava vuotoilma täytyy saada muista kerroksista sisäisiä vuotoilmareittejä pitkin. Tämä tasoittaa kerrosten välisiä vuotoilmavirtoja.

Yhteisvaikutus ja mallirakennuksen simulointi

Tuulen ja lämpötilaeron yhteisvaikutuksesta syntyviä vuotoilmavirtoja on hankala laskea tarkasti ilman moniväyhykemallinnusta. Lämpötilaeron aiheuttama paine-ero syntyy kuluissa olevien ilmapatsaiden ja ulkoilman välille, kun taas tuulen aiheuttama paine vaikuttaa suoraan rakennusten julkisivuille. Sisäiset virtausvastukset vaikuttavat hormivaikutuksen suuruuteen, minkä lisäksi tuulen epäsymmetrinen vaikutus ulkoseinille ja sen aiheuttamat sisäiset ilmavirrat sekoittavat laskentaa entisestään. Myös kulmahuoneistojen eri seinille aiheutuvat tuulenpaineet voivat vaihdella huomattavasti, jolloin yhden tilan sisällä voidaan havaita sisään- ja ulosvirtauksia.

Vaikutusten tarkastelua varten voidaan käyttää IDA ICE -simulointiohjelmaan rakennettua mallia korkeasta rakennuksesta. Tässä esitetty mallirakennus perustuu Ouluun rakennettavaan 12-kerroksiseen asuinkerrostaloon, jossa sisäisiä kuluja ovat kaksi hissiä sekä porrashuone (kuvio 2). Ulkoseinién vuotoilmalukuna q_{50} käytettiin $2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja ovien tiivyyttä kuvaavana ELA₄-arvona $0,01 \text{ m}^2$. Simulaatiomallissa parvekkeiden ja katon vaikutusta ei huomioitu mallin yksinkertaistamiseksi.



KUVIO 2. IDA ICE -simulointimalli rakennuksesta [2]

Taulukossa 1 on esitetty IDA ICE:n luodun mallirakennuksen simuloitujen vuotoilmamäärien kolmella eri ulkolämpötilalla ja tuulennopeudella. Taulukko havainnollistaa tuulennopeuden merkittävyyden rakennuksen kokonaisvuotoilmamäärissä.

TAULUKKO 1. Kokonaisvuotoilmamäärät

T_u [°C]	v [m/s]	q_{in} [dm ³ /s]	q_{out} [dm ³ /s]
5	0	154	-163
5	5	183	-201
5	10	360	-395
-10	0	229	-258
-10	5	241	-275
-10	10	370	-430
-32	0	303	-375
-32	5	307	-382
-32	10	393	-483

Kun tuulennopeus on alle 5 m/s, tuulen vaikutus rakennuksen paine-eroihin on vähäinen ja lämpötilaerojen aiheuttamat paine-erot hallitsevat vuotoilmavirtoja. Tuulen aiheuttamat paine-erot tulevat hallitseviksi, kun tuulen nopeus on yli 10 m/s. Korkeilla tuulennopeuksilla rakennuksen kokonaisvuotoilmavirrat ovat lähes yhtä suuret lämpötilaerosta riippumatta, mutta yksittäisissä tiloissa paine-erot ja vuotoilmavirrat vaihtelivat paljon

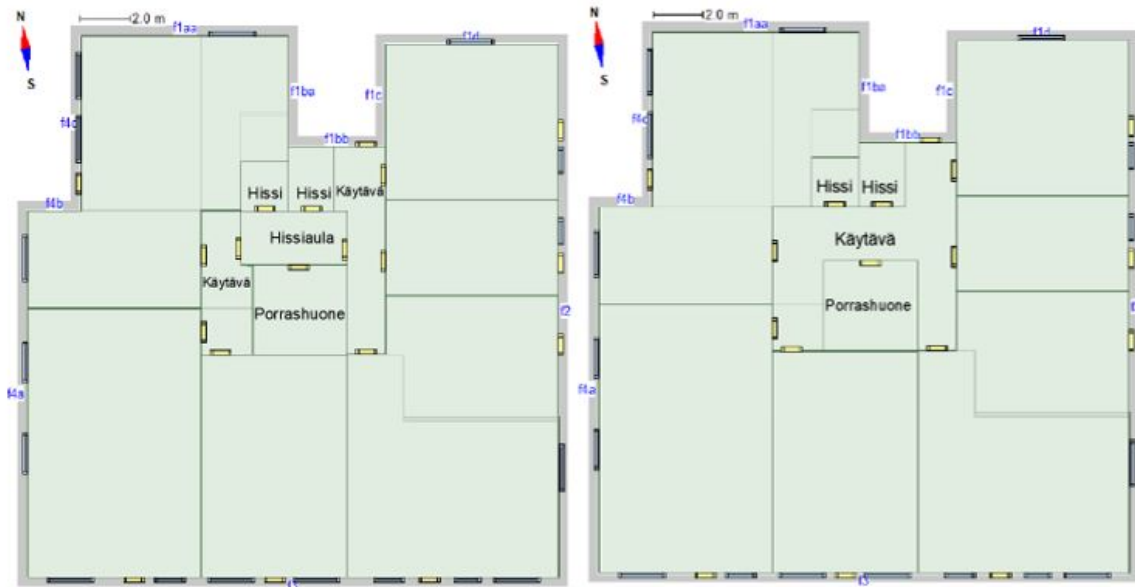
tilanteen mukaan. Ulosvirtauksen kasvu suuremmilla lämpötilaeroilla on sisäänvirtausta voimakkaampaa ilman lämpölaajenemisen vuoksi.

Paine-erojen hallitseminen

Yksittäisten rakenteiden, kuten ulkoseinien ja hissinovien ylitse vaikuttavaa paine-eroa voidaan hallita panostamalla rakenteiden tiivyyteen ja kuilujen osastointiin projektin suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Korkeissa rakennuksissa lämpötilaeron aiheuttamasta paine-erosta syntyviä ongelmia voidaan ehkäistä erottamalla kuilut, kuten hissit ja porrashuoneet rakennuksen muista osista. [3] Johtamalla porrashuoneet ja hissit erilliseen hissiaulaan, jonka kautta kuljetaan huoneistoihin vieville käytäville, voidaan kasvattaa rakennuksen sisäisiä virtausvastuksia. Suuret sisäiset virtausvastukset vähentävät ulkoseinän ylitse vaikuttavaa paine-eroa ja täten myös vuotoilmamääriä.

Rakenteiden tiivyyden ja osastoinnin vaikutus paine-eroihin

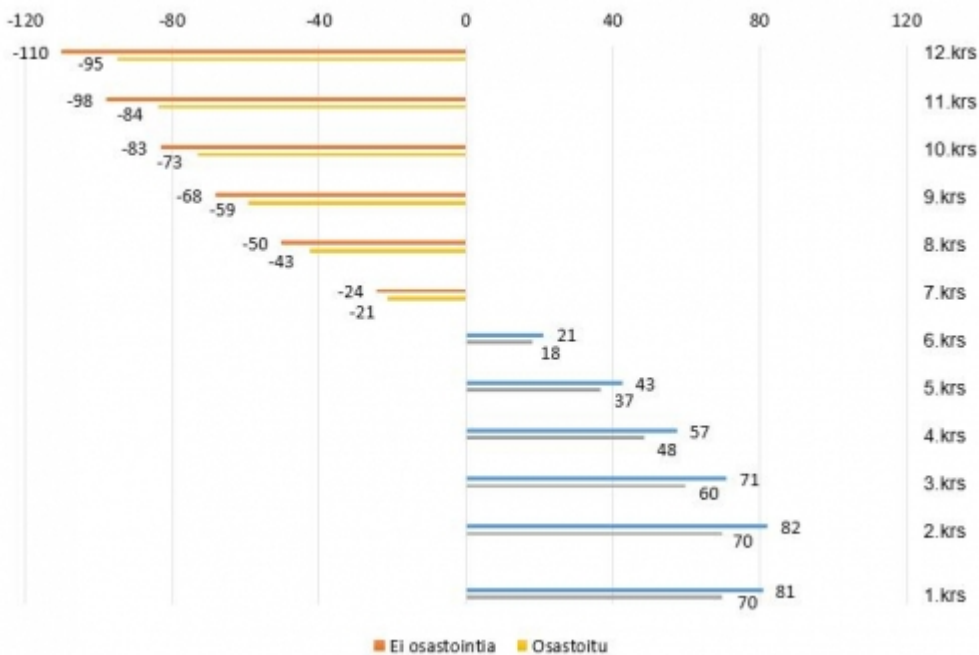
Rakenteiden tiivyyden ja osastoinnin vaikutusta voidaan havainnollistaa simulointimallin avulla. Tarkastelutilanteessa ulkolämpötilana käytettiin Oulun mitoituslämpötilaa $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tarkastelu keskittyi 12. kerrokseen, jossa paine-erojen vaikutukset ovat suurimmillaan. Kuviossa 3 on esitetty rakennuksen osastoitu ja osastoimaton pohjakuva. Vasemmalla rakennuksen kuilut johtavat erilliseen hissiaulaan, joka on erotettu huoneistoihin johtavista käytävistä. Oikealla kuilut johtavat suoraan kerroksen käytävätiloihin.



KUVIO 3. Osastoitu ja osastoimaton rakennus [3]

12. kerroksen korkeudella kokonaishormivaikutus kuilujen ja ulkoilman välillä oli noin 43 pascalia. Osastoidussa rakennuksessa ulkoseinien ylitse vaikutti noin 23,5 pascalin paine-ero, kun taas ilman osastointia paine-ero oli keskimäärin 32,5 pascalia.

Kuviossa 4 on esitetty osastoinnin vaikutus vuotoilmavirtoihin simuloinnissa käytetyillä tiivyyden arvoilla. Osastointi vähensi vuotoilmamääriä koko rakennuksessa noin 15 %.



KUVIO 4. Osastoinnin vaikutus kerroskohtaisiin vuotoilmavirtoihin [dm³/s], -32 °C, 0 m/s [4]

Osastoinnin lisäksi myös tiiviit rakenteet vähentävät vuotoilmamääriä. Tiiviit sisärakenteet suhteessa ulkoseinään vähentävät ulkoseinän ylitse vaikuttavaa paine-eroa, kun suurempi osa hormivaikutuksen aiheuttamasta paine-erosta häviää sisäisten virtausvastusten painehäviöihin. Tarkasteltaessa tuulen ja lämpötilaerojen yhteisvaikutusta on kokonaistilanne monimutkaisempi. Tuuli synnyttää paine-eron suoraan rakennuksen ulkovaipan ylitse, jolloin sisäisillä virtausvastuksilla ei ole suoraan tuulen ulkoseinälle aiheuttamaan paine-eroon vaikutusta. Tuulesta aiheutuvat epätasaiset vuotoilmavirrat aiheuttavat ylimääräistä ilmavirtausta sisärakenteiden yli, joka vaikuttaa hormivaikutuksen paine-eron jakautumiseen rakenteiden välillä.

Yhteenveto

Suomen talviolosuhteissa lämpötilaerojen ja tuulen yhteisvaikutus voi korkeissa rakennuksissa aiheuttaa suuriakin ongelmia asumisviihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen. Rakenteiden tiiviyden ja osastoinnin vaikutus sääolosuhteiden aiheuttamiin paine-eroihin ja vuotoilmamääriin on huomattava.

Simuloinneissa käytetyt ilmanpitävyyden arvot ovat peräisin asuinkerrostalojen suositusarvoista ja simulointiohjelman esiasetuksista. Kohteiden todelliseen laskentaan tulisi rakenteille käyttää mitattuja tai suunniteltuja tiiviyden arvoja. Tulosten perusteella kuilujen osastointi on kannattava ratkaisu korkeita rakennuksia suunniteltaessa, sillä se vähentää yksittäisten rakenteiden ylitse vaikuttavaa paine-eroa ja vuotoilmamääriä.

Artikkeli perustuu opinnäytetyöhön:

Pyörälä, H. 2020. Tuulen ja lämpötilan vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Oulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607>

Lähteet

1. [△Simmonds, P. & Zhu, R. 2013. Stack Effect Guidelines for Tall, Mega Tall and Super Tall Buildings. International Journal of High-Rise Building 2 \(4\), 323–330. Hakupäivä 3.9.2020. <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download...>](#)
2. [△Lstiburek, J. 2014. How Do Buildings Stack Up? Building Science Insights. Hakupäivä 3.9.2020. <https://www.buildingscience.com/documents/insights...>](#)

3. [^Mijorski, S. & Cammelli, S. 2016. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. International Journal of High-Rise buildings 5 \(4\), 327–338. Hakupäivä 3.9.2020. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2016.5.4.327>](https://doi.org/10.21022/IJHRB.2016.5.4.327)

Kuvalähteet

1. [^KUVIO 1. Hormivaikutuksen aiheuttamat paine-erot rakennuksessa. Teoksessa Pyörälä, H. 2020. Tuulen ja lämpötilan vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Oulu. Hakupäivä 2.10.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607>](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607)
2. [^KUVIO 2. IDA ICE -simulointimalli rakennuksesta. Teoksessa Pyörälä, H. 2020. Tuulen ja lämpötilan vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Oulu. Hakupäivä 2.10.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607>](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607)
3. [^KUVIO 3. Osastoitu ja osastoimaton rakennus. Teoksessa Pyörälä, H. 2020. Tuulen ja lämpötilan vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Oulu. Hakupäivä 2.10.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607>](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607)
4. [^KUVIO 4. Osastoinnin vaikutus kerroskohtaisiin vuotoilmavirtoihin \[dm³/s\], -32 °C, 0 m/s. Teoksessa Pyörälä, H. 2020. Tuulen ja lämpötilan vaikutus korkeiden rakennusten ulkovaipan paine-eroihin. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Oulu. Hakupäivä 2.10.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607>](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020072819607)

Metatiedot

Nimeke: Sääolosuhteiden paine-erovaikutukset korkeissa rakennuksissa

Tekijä: Pyörälä Harri; Rautiainen Martti

Aihe, asiasanat: ilmasto, kerrostalot, korkeus, rakennetekniikka, sää

Tiivistelmä: Suomessakin on ryhdytty rakentamaan korkeita, yli 12-kerroksisia tornitaloja. Osana korkean rakennuksen suunnittelua on tärkeää huomioida myös syntyvät paine-erot rakenteen ylitse. Rakennuksen korkeuden kasvaessa tuulen ja lämpötilaeron vaikutukset korostuvat erityisesti Suomen talviolosuhteissa.

Artikkeli perustuu Harri Pyörälän opinnäytetyöhön, jossa tutkittiin tuulen ja lämpötilaerojen yhteisvaikutusta rakennuksessa syntyviin paine-eroihin mallintamalla korkean rakentamisen kohde IDA ICE -simulointiohjelmalla. Korkean rakennuksen simulointimalli perustuu Ouluun rakennettavaan 12-kerroksiseen kohteeseen. Mallin avulla tutkittiin rakenteiden tiiveyden ja osastoinnin vaikutusta kerroskohtaisiin vuotoilmavirtoihin.

Simuloinnin tulosten perusteella korkean rakennuksen osastointi sekä ulkovaipan lisäksi tiiviit sisärakenteet vähentävät huomattavasti rakenteiden ylitse vaikuttavaa paine-eroa ja vuotoilmamääriä. Siten vähennetään kosteusvaurioriskiä ja parannetaan rakennuksen energiataloutta merkittävästi.

Julkaisija: Oulun ammattikorkeakoulu, Oamk

Aikamääre: Julkaistu 2020-10-14

Pysyvä osoite: <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2020091870022>

Kieli: suomi

Suhde: <http://urn.fi/URN:ISSN:1798-2022>, ePooki - Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut

Oikeudet: CC BY-NC-ND 4.0

Näin viittaat tähän julkaisuun

Pyörälä, H. & Rautiainen, M. 2020. Sääolosuhteiden paine-erovaikutukset korkeissa rakennuksissa. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 81. Hakupäivä xx.xx.xxxx. <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2020091870022>.