



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

LVI-TEKNIikka KORKEASSA ASUINRAKEN- NUKSESSA

Riku Kuortti

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

RIKU KUORTTI:
LVI-tekniikka korkeassa asuinrakennuksessa

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2018

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää, miten rakennuksen korkeuden aiheuttamia ongelmia ratkaistaan LVI-teknisillä järjestelmillä. Työssä tutkittiin erityisesti hormivaikutuksen ja staattisen paineen aiheuttamia ongelmia ja niiden ratkaisuja.

Työn tutkimusmenetelmänä oli kirjallisuusselvitys. Ongelmiin ei kehitetty uusia ratkaisuja, vaan koottiin olemassa olevia ja Suomen rakennusmääräykset täyttäviä ratkaisuja yhteen. Lähteinä käytettiin erityisesti Yhdysvaltojen ja Kanadan LVI-alan instituutioiden ja ammattilaisten teoksia.

Korkeat rakennukset vaativat erityisiä toteutustapoja LVI-järjestelmiin jo 6-8 kerroskorkeuden saavuttaessaan. Hormivaikutusta hallitaan rakenneratkaisuilla, kuten rakenteiden tiiveydellä ja ilman pystysuuntaisen liikkeen estämisellä. Hormivaikutus on kuitenkin aina huomioitava ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotuksessa. Nestettä sisältävien verkostojen staattista painetta hallitaan verkostojen vyöhykejaoilla ja paineenkorotusasemilla. Selvitys osoitti, että korkeat rakennukset ovat haastavia ja erityisosaamista vaativia kohteita, joiden rakentamiseen myös Suomen rakennusmääräysten tulisi ottaa kantaa.

ABSTRACT

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

RIKU KUORTTI:
HPAC in a Residential High-Rise Building

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 4 pages
April 2018

The purpose of this thesis was to study the existing solutions to the special requirements for the HPAC systems in the high-rise residential buildings. Problems caused by the stack effect and static pressure were studied in particular.

The method in this study was a literary research. The purpose was not to develop new solutions, but rather to gather the existing solutions that meet the national building codes of Finland. The information was mainly searched in the literature by institutions and professionals in the United States and Canada.

The construction height affects the function of HPAC systems from 6-8 stories upwards. The stack effect is restricted by structural solutions, such as the airtightness of the building and preventing the horizontal movement of the air. However, the stack effect must always be taken into account when balancing the ductwork. Pipework that consists liquid can cumulate high static pressure, which can be reduced by dividing the pipework into pressure zones. The findings of the study indicate that constructing high-rise buildings require a great deal of special consideration and knowledge. Hereby high-rise buildings should be instructed by national building codes of Finland.

Key words: High-rise building, stack effect, static pressure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA	6
	2.1 Painesuhteet	6
	2.1.1 Tuuli	7
	2.1.2 Hormivaikutus.....	10
	2.2 Hydrostaattinen paine	12
	2.3 Lämpölaajeneminen.....	12
3	KIRJALLISUUSSELVITYS	13
	3.1 Ilmanvaihto	13
	3.1.1 Keskitetty ilmanvaihto	14
	3.1.2 Huoneistokohtainen ilmanvaihto	15
	3.2 Lämmitys	15
	3.2.1 Kaukolämpö	16
	3.3 Käyttövesi- ja viemärijärjestelmät	17
	3.3.1 Käyttöveden vyöhykejako.....	18
	3.3.2 Viemärijärjestelmät	18
	3.4 Putkistojen lämpölaajeneminen	21
4	TULOKSET	22
	4.1 Ilmanvaihto ja painesuhteet	22
	4.2 Painesuhteiden hallinta	22
	4.3 Välisiirrinratkaisu	24
	4.4 Käyttöveden vyöhykejako	25
5	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	33
	Liite 1. Lämpimän käyttöveden kierron kytkentä (ASPE, 2017).....	33
	Liite 2. Tuuletusviemäriin kytkentäperiaatteita (ASPE, 2015)	35

1 JOHDANTO

Rakennuskorkeuden kasvattaminen on yleistynyt maailmanlaajuisesti 2000-luvun vaihteesta lähtien. Sen etuja ovat kaupunkikuvan ja imagon kehittyminen, sekä kaupunkirakenteen tiivistyminen ja maankäytön tehostuminen. Parhaillaan korkea rakentaminen luo puitteet ekologisesti kestäväälle yhdyskunnalle, jossa palvelut ja hyvät joukkoliikenneyhdytydet ovat lähellä. Korkea rakentaminen on Suomessa vielä vähäistä, mutta yleistyy alkavissa hankkeissa ja kaupunkien kaavoituksissa erityisesti pääkaupunkiseudulla.

Vaikka Suomesta löytyykin jo kymmeniä korkeita rakennuksia, ei Suomen säädöksissä, määräyksissä tai näiden ohjeissa käsitellä juurikaan korkeiden rakennusten toteutustapoja. Korkean rakennuksen talotekniikasta on olemassa runsaasti tietoa, mutta se on hajallaan useissa eri lähteissä ja sisäpiirin tietona kokeneilla ammattilaisilla. Opinnäytetyö on kirjallisuustutkimus, joka etsii olemassa olevia ratkaisuja korkean rakentamisen talotekniikalle asettamiin erityisvaatimuksiin. Työssä esitellään rakennuksen korkeuden aiheuttamia vaatimuksia, Suomen määräykset täyttäviä ratkaisuja, ja perustellaan niiden käyttöä.

Korkea rakentaminen on vanha laji, jota Yhdysvalloissa ja Kanadassa on harjoitettu jo 1900-luvun alusta. Samankaltaisten ilmastojen takia Yhdysvalloissa, ja erityisesti Kanadassa painitaan myös samojen ongelmien kanssa kuin Suomessa. Valtaosa työn lähdemateriaalista onkin kerätty näiden maiden rakentamista ohjaavilta instituutioilta, sekä alan toimijoiden kirjoituksista ja tutkimuksista. Lisäksi materiaalia on kerätty Suomesta tutkimuslaitoksilta, rakennusmääräyksistä ja ohjeista, sekä alan ammattilaisten teoksista.

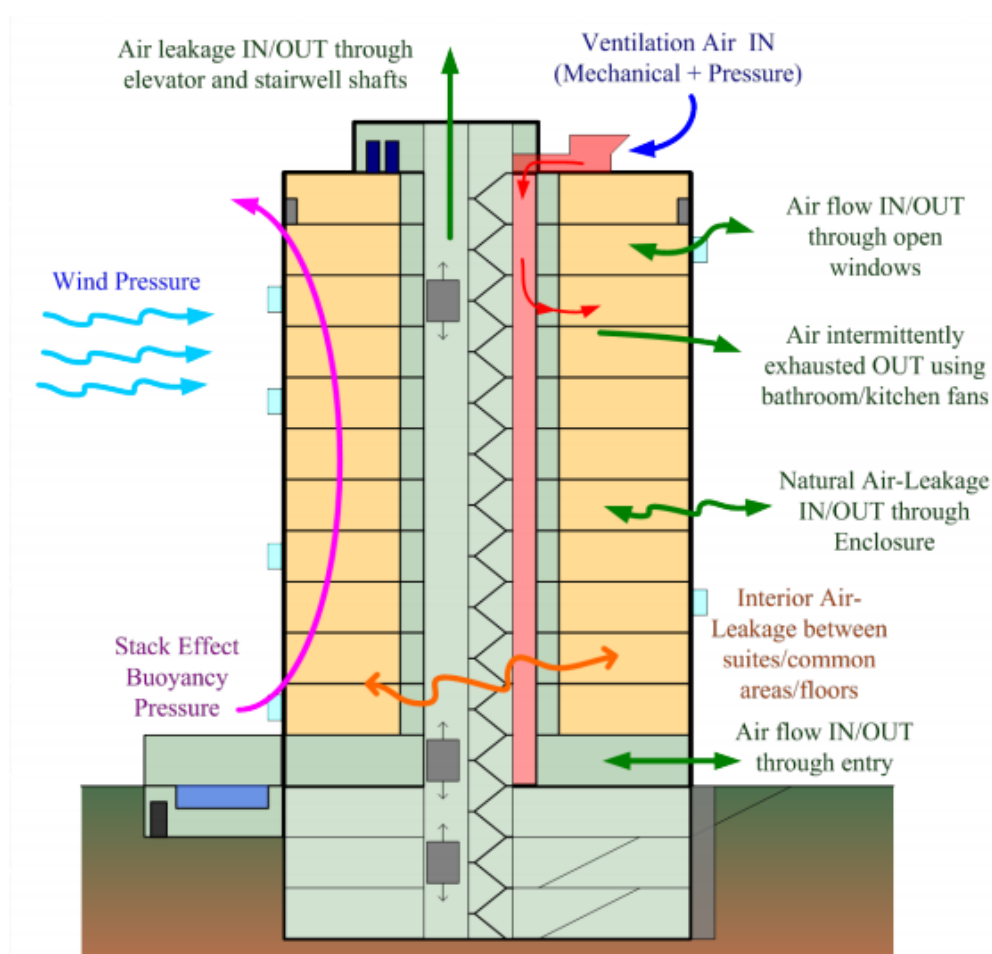
2 TEORIA

Tässä luvussa esitellään teoria korkeaan rakentamiseen vaikuttavien fysikaalisten ilmiöiden ja luonnonilmiöiden takana. Teoriaa avataan sanallisesti, kuvin, sekä laskukaavat esittämällä. Pääpaino on rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavilla tekijöillä.

2.1 Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteet aiheuttavat ilmavirtauksia rakennuksen tiloissa ja rakenteiden läpi. Ilmavirta pyrkii kulkemaan pienemmästä paineesta suurempaan, paine-eron suuruus kasvattaa ilmavirtaa. Kuvassa 1 on esitetty painesuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. Rakenteiden tiiviydellä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka paljon ilmaa pääsee virtaamaan rakenteiden läpi. Ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan vesihöyryä ja mahdollisia epäpuhtauksia aiheuttaen riskin kosteus- ja sisäilmaongelmille.

(Sisäilmayhdistys. 2008; Hens, H. S. L. C. 2012)



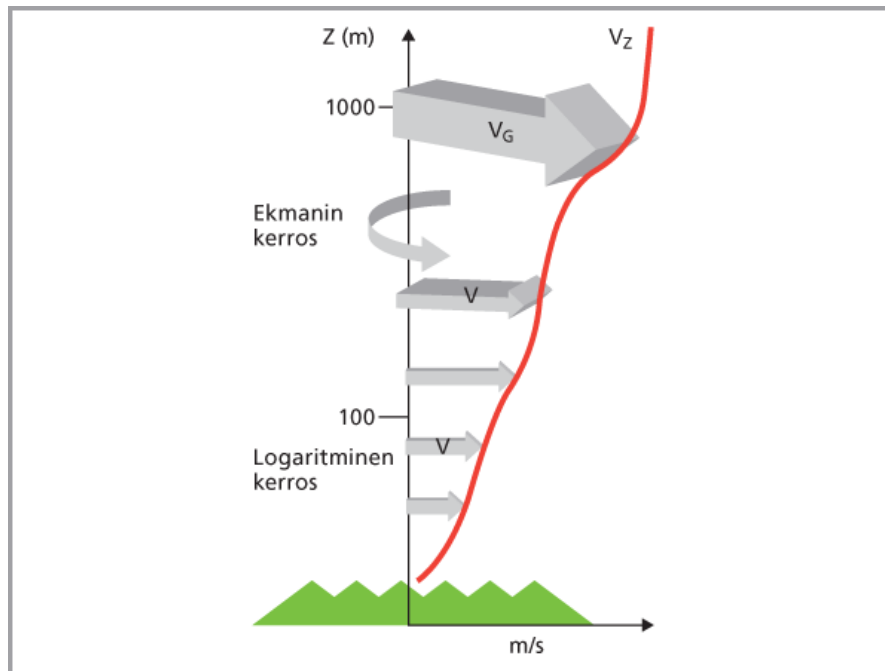
KUVA 1. Ilmavirrat korkeassa asuinrakennuksessa (Young, D. 2012)

Korkeiden rakennusten painesuhteiden hallinta on tavanomaisia rakennuksia haastavampaa, sillä paine-erot kasvavat rakennuksen korkeuden kasvaessa hormivaikutuksen ja tuulen aiheuttamina. Suomen kylmistä sääolosuhteista johtuen erityisesti hormivaikutuksen osuus on suuri. Tuulen vaikutus vaihtelee nopeasti ja sitä on haastavaa huomioida mitoituksissa.

Korkeissa auloissa, portaikoissa ja hissikuiluissa syntyy termisiä paine-eroja kylminä vuodenaikoina. Korkea tila voi olla ylhäältä voimakkaasti ylipaineinen ja alhaalta alipaineinen. Termiset paine-erot korkeissa tiloissa vaikuttavat viereisten tilojen paineisiin. Vaikutus riippuu rakennusosien, ja erityisesti tilojen välisten rakenteiden tiiviyydestä sekä korkean tilan painejakaumasta. Korkeissa asuinrakennuksissa paine-erot eivät yleensä kasva yhtä suuriksi kuin vastaavissa liiketoiminnallisissa rakennuksissa, sillä asuinkäytössä rakennuksessa on enemmän väliseiniä ja suljettuja tiloja hidastamassa ilman liikettä. (sandberg. 2014; Trechsel, H. 2009)

2.1.1 Tuuli

Suomessa tuulisinta on lämmityskaudella, ja vallitsevin tuulensuunta on lounaistuuli. Maastonmuodot vaikuttavat tuulen nopeuteen ja suuntaan. Korkealla tuulen nopeus on suurempi, koska maanpinnalla olevat epätasaisuudet hidastavat ilman virtausta. Pintakerros kuvaa ilmakehän osaa, jossa tuulen nopeuden pystysuora muutos on logaritminen. Suomessa pintakerroksen korkeus on noin 10 – 100m, eli valtaosa rakennuksista sijoittuu tähän kerrokseen. Tuulen nopeuden pystysuoraa muutosta on havainnollistettu kuvassa 2. (Suomen tuuliatlas. 2018)



KUVA 2. Tuulen nopeuden muutos pystysuunnassa (tuuliatlas)

Pintakerroksella tuulen nopeuden vertikaalisen muutoksen ollessa logaritminen, voidaan nopeutta tietyllä korkeudella $u(z)$ kuvata kaavoilla 1 ja 2. Kaavalla 1 lasketaan kinemaattinen pintastressi, joka sijoitetaan kaavaan 2.

$$u_* = k \left(\frac{u(z)}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \right) \quad (1)$$

missä,

$u(z)$ = tuulen nopeus korkeudella z [m/s]

z = korkeus maanpinnasta [m]

u_* = kinemaattinen pintastressi [m/s]

k = von Kármán'in vakio, joka on noin 0,4

z_0 = maaston rosoisuutta kuvaava parametri [m]

(Suomen tuulivoimayhdistys ry. 2018)

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln(z/z_0) \quad (2)$$

missä,

$u(z)$ = tuulen nopeus korkeudella z [m/s]

z = korkeus maanpinnasta [m]

u_* = kinemaattinen pintastressi [m/s]

k = von Kármán'in vakio, joka on noin 0,4

z_0 = maaston rosoisuutta kuvaava parametri [m]

(Suomen tuuliatlas. 2018)

Suomessa korkeita rakennuksia on harvassa, joten ne eivät anna tuulensuojaa toisilleen. Epätasaisten pinnanmuotojen takia kaupunkien tuulen nopeudet kasvavat voimakkaasti korkeuden kasvaessa. Nämä tekevät tuulesta vaikuttavan tekijän korkeiden rakennusten olosuhteille. Tuulen aiheuttamaa yli- tai alipainetta rakennuksen ulkoseinällä voidaan arvioida kaavan 3 avulla.

$$p = c \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

missä,

p = yli- tai alipaine rakennuksen ulkoseinämällä [Pa]

c = rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio

ρ = ulkoilman tiheys [kg/m³]

v = tuulen nopeus [m/s]

Kertoimen c arvot vaihtelevat eri tutkimusten perusteella huomattavasti, Siikanen on teoksessaan *Rakennusfysiikka* esittänyt c :lle seuraavia arvoja:

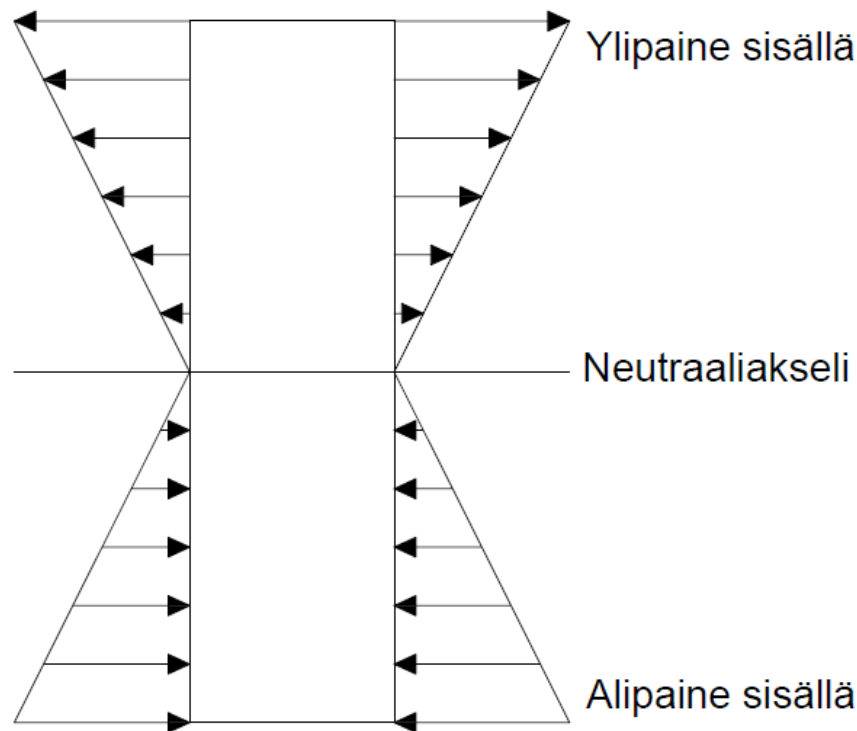
- tuulenpuoleinen seinä 0,7
- suojanpuoleinen seinä -0,5
- tuulen suuntainen seinä -0,6... -1,2

(Siikanen, U. 2014)

2.1.2 Hormivaikutus

Hormivaikutus on nosteen aikaansaama ilmiö, joka esiintyy korkeissa rakennuksissa kiu-
luissa, rappukäytävissä ja kanavissa. Ilmiön voimakkuus kasvaa alueilla joilla ulkoilman
lämpötila on äärimmäisen kylmä tai kuuma. Kylmissä olosuhteissa lämmin sisäilma pyr-
kii nousemaan rakennuksessa ylöspäin aiheuttaen rakennuksen sisäilman ja ulkoilman
välille paine-eroja. Rakennuksen alaosasta tulee syntyneen alipaineen takia kylmää vuo-
toilmaa, joka lämmitessään nousee ylös aiheuttaen jatkuvan kierteen. (Mijorski, S. 2016)

Paine-erot aiheuttavat kuvan 3 mukaisia ilmavirtauksia aukoista ja rakenteiden läpi. Vä-
lillä sijaitsee neutraaliakseli, jolla paine-ero vaipan yli on 0 Pa. Neutraaliakselin kor-
keusasemaan vaikuttaa tulo- ja poistoilmavirtojen tasapaino ja vuotokohdat. Neutraaliak-
selin tarkkaa asemaa on vaikea arvioida, mutta sen voidaan olettaa olevan rakennuksen
puolivälissä esimerkiksi paine-eroja laskettaessa. (Ross, D. 2004)



KUVA 3. Hormivaikutuksen aiheuttama teoreettinen ilmavirtaus vaipan yli

Hormivaikutusta kasvattaa sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero ja rakennuksen kor-
keus. Ilmiö on kylmissä olosuhteissa yleensä voimakkaampi suurempien lämpötilaerojen
takia, näin etenkin Suomessa. Kaavalla 4 voidaan laskea hormivaikutuksen synnyttämä

paine-ero ulkoilmaan nähden, mutta siitä ei saada rakennuksen alaosiin syntyvää alipainetta. Kaavalla 5 voidaan laskea rakennuksen ylä- ja alaosien paine-erot ulkoilmaan nähden.

$$\Delta p = \left(\frac{T_s - T_u}{T_u} \right) \rho_s g h \quad (4)$$

missä,

Δp = hormissa syntyvä paine-ero [Pa]

T_s = sisäilman absoluuttinen lämpötila [K]

T_u = ulkoilman absoluuttinen lämpötila [K]

ρ_s = sisäilman tiheys [kg/m³]

g = painovoiman kiihtyvyys [9,81 m/s²]

h = hormivaikutuksen korkeus [m].

(Sandberg, E. 2014)

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_s) h g \quad (5)$$

missä,

Δp = paine-ero [Pa]

ρ_u = ulkoilman tiheys [kg/m³]

ρ_s = sisäilman tiheys [kg/m³]

h = etäisyys neutraaliakselista [m]

g = painovoiman kiihtyvyys [9,81 m/s²].

(Siikanen, U. 2014)

Hormivaikutus aiheuttaa korkeissa rakennuksissa merkittäviä ongelmatapauksia joita tulee ottaa huomioon aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Alimmissa kerroksissa avoimista aukoista tulee sisään kylmää ilmaa, joka on huomioitava lämmityksen mitoituksessa. Eri-tyisen alttiita tiloja lämmityksen alimitoitukselle ovat aulat joissa on ulko-ovet ja mahdollisesti suora yhteys rappukäytävään ja hissikuiluun. Hallitsemattomat ilmavirrat tilojen välillä voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia, kuten rakennuksen alle tehdyn parkkihallin ilman vuotaminen rakennuksen alimpaan kerrokseen. Suuret paine-erot saattavat aiheuttaa ongelmia myös hissien ovien kanssa. Ulko-oven avautuessa sisäilman paine kasvaa ja

paine-ero hissikuilun ja sisäilman välillä aiheuttaa ovia vasten voiman joka riittää ovien toiminnan estymiseen. (Ross, D. 2004)

2.2 Hydrostaattinen paine

Hydrostaattinen paine on nesteiden oman massan aiheuttama paine. Hydrostaattinen paine on nesteen tiheyden, putoamiskiihtyvyyden ja nestepatsaan korkeuden tulo, se laskeaan kaavan 6 mukaan. Rakennuksen korkeus aiheuttaa nestettä sisältävissä putkistoissa paineen nousun putkiston alaosissa, aiheuttaen ongelmia putkistojen rakenteiden kestävyudessa. Korkeuden suhteen syntyvät paine-erot ovat ongelmallisia erityisesti käyttöveden haluttujen virtaamien toteutuksessa.

$$p = \rho gh \quad (6)$$

missä,

p = hydrostaattinen paine [Pa]

ρ = nesteen tiheys [kg/m^3]

g = putoamiskiihtyvyys [m/s^2]

h = nestepatsaan korkeus [m]

(Mäkelä, M. 2005)

2.3 Lämpölaajeneminen

Lämpölaajenemisella tarkoitetaan kappaleen laajenemista lämpötilan suhteen. Lämpölaajenemista voidaan tutkia kappaleen pituuden tai tilavuuden muutoksen suhteen. Rakennusten putkinousuja tutkittaessa on luontevaa tarkastella asiaa pituuden muutoksen suhteen kaavalla 7. (LVI 12-10330)

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \quad (7)$$

missä,

Δl = lämpölaajeneminen [mm]

α = lämpölaajenemiskerroin [$\text{mm/m}^\circ\text{C}$]

l = putkiosuuden pituus [m]

$\Delta t = t_2 - t_1 =$ vastaava lämpötilan muutos [$^\circ\text{C}$]

3 KIRJALLISUUSSELVITYS

3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmillä hallitaan sisäilman fysikaalisia ominaisuuksia, tärkeimpinä lämpötila, kosteus ja epäpuhtauksien pitoisuudet. Ilmanvaihto mitoitetaan ja suunnitellaan sisäilman arvoille asetettuihin vaatimuksiin perustuen. Suomen rakennusmääräyskoelma on antanut osassa D2 minimivaatimukset asuinrakennusten ilmanvaihdolle. Rakennusta suunniteltaessa tilaaja voi asettaa sisäilmalle lisäksi korkeampia vaatimuksia, esimerkiksi sisäilmastoluokituksen asettamia arvoja. (Sisäilmayhdistys. 2008)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain koneellisia tulo- ja poistoilmajärjestelmiä, joita käytännössä uudiskohteisiin valitaan. Nämä järjestelmät soveltuvat parhaiten Suomen rakennusmääräyksiin ja ovat toimivin vaihtoehto korkeissa rakennuksissa, joissa järjestelmän tulee toimia muuttuvissa lämpö- ja tuuliolosuhteissa. Korkeissa asuinrakennuksissa ilmanvaihtoa toteutetaan keskitetyllä, kerroskohtaisella ja huoneistokohtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä. (Ashrae handbook. 2016; RakMK D2. 2012)

Haasteita ilmanvaihdolle korkeissa rakennuksissa asettavat erityisesti painesuhteet, jotka rajoittavat järjestelmän rakennetta ja käytettävää tekniikkaa. Hormivaikutus pystykanavissa pakottaa jakamaan rakennuksen vertikaalisesti ilmanvaihtovyöhykkeisiin. Hormivaikutuksen voimakkuus ja vaihtelu on laskettava suunnitteluvaiheessa ja otettava huomioon kanaviston rakenteessa ja tasapainotuksessa.

Helsingin korkean rakentamisen rakentamistapaohje on koottu ohjeistamaan korkeaa rakentamista, siinä on lueteltu mm. korkean rakentamisen erillisselvityksiä. Ohjeen mukaan korkeita rakennuksia suunniteltaessa tulee esittää suunnitelmien ohella seuraavat lisäselvitykset ilmanvaihtoa koskien: (Helsingin kaupunki. 2012)

- Ilmanvaihdon pystyvyöhykejakojen selvitys
- Hormivaikutuksen laskelmat porrashissikuiluissa sekä pystykanavoinneissa
- Seinäpuhallusta käytettäessä tehtävä erillisselvitys etäisyyksistä ilmanottoihin
- Ylipaineistuksen ja savunpoiston suunnitelma porrashuoneeseen ja hissikuiluihin
- Ilman sekoittumisen estäminen (poisto/parvekkeet, terassit, ikkunat)

3.1.1 Keskitetty ilmanvaihto

Keskitettyä ilmanvaihtojärjestelmää käytettäessä ilmanvaihtokone voi sijaita katon alla, tai rakennuksen keskellä sille varatussa ilmanvaihtokonehuoneessa. Rakennuksen korkeuden kasvaessa voidaan käyttää useampia ilmanvaihtokoneita, jolloin rakennus jaetaan pystysuunnassa vaikutusalueisiin koneiden kesken. Kerroksiin sijoitettaessa ilmanvaihtokone voi vaatia normaalia suuremman kerroskorkeuden kanavointia varten. Kerroskorkeuden muuttaminen voi olla ongelmallista korkeiden rakennusten vyöhykkeiden tarkan mitoituksen takia. (Mcnamara, R. 2016; Webster, W. 1999)

Puhaltimien staattisen paineen tuotto tulee olla riittävä voittamaan kanaviston painehäviöt, sekä rakennuksessa vallitsevat hormivaikutuksen ja tuulen aiheuttamat paine-erot. Suurten kanavistojen painehäviöt ovat usein suunniteltua suuremmat ylimääräisten putkiosien ja likaantuneiden suodattimien takia. Puhaltimet korkeissa rakennuksissa voivat olla hieman ylimitoitettuja, tätä perustellaan ympäristön muuttuvilla olosuhteilla. Ongelmaksi puhaltimen mitoituksessa voi muodostua nouseva SFP-luku, joka ei saa ylittää $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. (Sandberg, E. 2014; RakMK D2. 2012; Webster, W. 1999)

Keskitetyn ilmanvaihdon etuja ovat hyvä energiatehokkuus, ilmanlaatu ja huollettavuus. Huoltotoimenpiteet voidaan tehdä pääasiassa ilmanvaihtokonehuoneessa, jossa suurin osa huollettavasta tekniikasta sijaitsee. Raitisilma otetaan keskitetyssä järjestelmässä katolta, jossa varsinkin kaupunkiolosuhteissa on parempi ilmanlaatu kuin lähempänä katu-tasoa. Korkeissa rakennuksissa kanavisto kasvaa suureksi. Kanaviston suuri koko vaikeuttaa säätöä ja vaatii paljon palo- ja säätöpeltejä, jolloin järjestelmän kustannukset nousevat. Keskitettyä järjestelmää käytettäessä pystykanavat aiheuttavat haasteita hormien suunnittelulle ja kasvattavat hormoneja, vähentäen vapaata lattiapinta-alaa. (Mcnamara, R. 2016; Ross, D. 2004)

3.1.2 Huoneistokohtainen ilmanvaihto

Huoneistokohtainen ilmanvaihto toteutetaan korkeissa rakennuksissa samaan tapaan kuin tavanomaisissakin kohteissa. Muutoksia aiheuttaa ulospuhallukset, jotka voidaan toteuttaa seinäpuhalluksena tai johtamalla poistoilma erillisissä pystynousuissa vesikatolle. Vesikatolle johdettaessa kanavia ei saa yhdistää, tämä johtaa kanavien suureen määrään ja hormitilan tarpeeseen. Seinäpuhalluksia käytettäessä tulee Helsingin korkean rakentamisen rakennustapaohjeen mukaan tehdä erillinen selvitys etäisyyksistä ilmanottoihin. (RakMK D2. 2012; Helsingin kaupunki. 2012)

Ulkovaipan yli vallitseva paine-ero vaihtelee rakennuksen eri kerroksissa, lämpötiloissa ja tuuliolosuhteissa. Sisällä vallitseva alipaine on suurin kylmällä kelillä rakennuksen alimmissa kerroksissa. Jäteilman seinäpuhalluksen toimivuudesta tulisi tehdä laskennallinen arviointi, jolla varmistetaan puhaltimen paineentuoton riittävyys. Puhaltimen tulee voittaa vallitseva paine-ero suunnitellulla jäteilmavirralla. (Webster, W. 1999)

Huoneistokohtainen ilmanvaihto ei tarvitse pystykanavia huoneistojen välille, tämä poisulkee korkeita rakennuksia vaivaavan hormivaikutuksen kanavista, helpottaa kanaviston säätöä ja tasapainotusta, sekä vähentää tilantarvetta hormoneille. Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden huolto vaatii huoneistoissa käynnin, eikä ole yhtä tehokasta kuin keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän huoltaminen.

3.2 Lämmitys

Korkeiden rakennusten lämmitysjärjestelmissä tulee huomioida lämmitysverkoston korkeudesta johtuva hydrostaattinen paine ja tavanomaisesta poikkeavat lämpöhäviöt. Rajapuron insinööriyössä tehtyjen haastatteluiden perusteella käyttöpaineen noustessa on mahdollista asentaa välisiirrin ja sijoittaa toinen lämmönjakohuone kerrokseen. Tämä tarkoittaa siirtimien määrän ja tilantarpeen kasvua ja haasteita siirrinten mitoituksille. Lämmitysjärjestelmä voidaan myös jakaa vyöhykkeisiin. Vyöhykejaolla saadaan pienennettyä lämmityspiirien käyttöpaineita, lisäksi häiriötilanteen sattuessa koko rakennuksen lämmitys ei välttämättä katkea. (K1/2013; Rajapuro, M. 2015)

Korkeiden rakennusten lämpöhäviöiden arviointi poikkeaa tavanomaisesta, koska hormi- vaikutuksen aiheuttamat vuotoilmavirrat on huomioitava. Lämmityskaudella rakennuk- sen alaosien alipaine aiheuttaa vuotoilmavirtoja aukoista ja rakenteiden läpi, muiden läm- pöhäviöiden lisäksi myös kylmä vuotoilma tulee lämmittää. Koska paine-erot sisä- ja ul- koilman välillä vaihtelee korkeuden suhteen, on myös vuotoilmavirrat ja lämpöhäviöt eri suuruiset kullakin kerroksella. (Webster, W. 1999)

3.2.1 Kaukolämpö

Kaukolämmitystä koskevien määräysten mukaan toisiopuolen käyttöpaine ei saa ylittää 600 kPa. Käyttöpaineen noustessa on sijoitettava toinen lämmönjakuhuone rakennuksen kerroksiin. Tämä on tehtävä välisiirrinratkaisua käyttäen, sillä kaukolämmön toimittajien ohjeistuksissa kielletään kaukolämpöputkien vienti kerroksiin paineiden vaihteluiden ta- kia. (K1/2013; Rajapuro, M. 2015)

Välisiirrinratkaisussa siirrinmitoituksissa ongelmalliseksi voivat tulla kaukolämpömää- räyksissä asetetut toisiopuolen meno- ja paluueden maksimilämpötilat, jotka on esitelty taulukossa 1. Väliverkoston menoveden lämpötilan tulee olla riittävän korkea, jotta läm- mitysverkoston menoveden lämpötila saadaan suunnitelluksi. Pieniksi jääviä lämpötila- eroja voidaan kompensoida kasvattamalla väliverkoston virtaamaa, tämä tarkoittaa suu- rempia putkidimensioita ja pumppauskustannuksia. Välisiirrinkytkentää käytettäessä kaukolämmön tarjoajat ovat joustaneet lämpötilavaatimuksista, asiasta tulee keskustella ennen suunnittelun aloittamista. (Rajapuro, M. 2015)

TAULUKKO 1. Kaukolämpöjärjestelmän maksimilämpötilat

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	PALUU	MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimek, radiaattori-lämmitys - suositus	115	33 (max)	30 (max)	45 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimek, radiaattori-lämmitys - poikkeusta-paukset	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimek, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	35 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	30 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimek	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

3.3 Käyttövesi- ja viemärijärjestelmät

Käyttövesijärjestelmän toteutuksessa korkeassa rakennuksessa on ongelmana sopivien paineiden saavuttaminen, ja järjestelmän energiatehokkuus. Rakennusmääräyskokoelman osassa D1 on annettu ohjeita käyttövesijärjestelmän mitoitukselle, sen mukaan erityisesti paineen riittävydestä tulee pitää huoli. Rakennuksen yläosiin tulee saada riittävä paine, samaan aikaan rakennuksen alaosissa paine ei saa nousta liian suureksi. Tämä edellyttää käyttövesijärjestelmään vyöhykejakoja, paineenkorotuslaitteistoja ja paineenalennusventtiilejä. Erityisesti pumppaustekniikan kehittyminen ja paineenkorotusasemien tehokkuus ja luotettavuus ovat tuoneet uusia mahdollisuuksia käyttöveden jakeluun korkeissa rakennuksissa. Tässä työssä esitellään Suomen rakennusmääräykset täytettäviä ja toimiviksi todettuja toteutustapoja. (RakMK D1. 2007)

Jos vesilaitoksen ilmoittama veden alin normaalipaine ei ole riittävä, tarvitaan paineen korotusta. Paineenkorotuslaitteistoja käytettäessä tulee putkiston suunnittelussa kiinnittää huomiota painehäviöiden minimointiin, jotta veden pumppauskustannukset eivät kasva suuriksi. Painehäviöitä voidaan pienentää suurempia putkidimensioita käyttämällä, suoralinjaisten putkistojen suunnittelulla ja sopivien sekoittajien valinnalla. Paineenkorotusta suunniteltaessa tulee huomioida käyttövesijärjestelmän paineenkesto, joka on rakennusmääräysten mukaan vähintään 1000 kPa. (RakMK D1. 2007)

3.3.1 Käyttöveden vyöhykejako

Putkiston korkeus ja veden oma massa nostavat järjestelmän alaosien hydrostaattista painetta. Jotta paineet pysyisivät sallituissa rajoissa ja veden saatavuus olisi tasaista rakennuksen eri osissa, voidaan käyttövesijärjestelmä jakaa vyöhykkeisiin. Vyöhykkeisiin jaettua järjestelmää suunniteltaessa tavoitteena on hallitut ja tasaiset paineet kaikilla vesipisteillä. Käyttövesijärjestelmä tulee suunnitella ja mitoittaa niin, että painesuhteiltaan epäedullisimmalta kalusteelta saatava virtaama on vähintään 70% normivirtaamasta. Tämä tulee ottaa huomioon suunnittelussa jokaisen vyöhykkeen osalta. Vyöhykejako suunnitellaan selvittämällä vyöhykkeen ylimmän ja alimman sallitun paineen erotus. Paineiden erotus kertoo, paljonko vyöhyke sallii korkeuden aiheuttamaa hydrostaattista painetta. (Steele, A. 2003)

3.3.2 Viemärijärjestelmät

Korkean rakennuksen viemärijärjestelmää suunniteltaessa avainasemassa on viemäriin ilmanpaineiden hallinta, ei virtauksen nopeus. Jäteveden virratessa pystyviemäriin syntyy rengasmainen virtaus, joka kulkee viemäriin reunoja pitkin alas. Virtaavan jäteveden edellä ilmanpaine kasvaa, ja virtauksen taakse syntyy alipaine. Paine-ero pyrkii tasaantumaan ja aiheuttaa jätevettä hidastavan ilmavirran putken keskellä. Jäteveden nopeus saavuttaa maksiminsa 3-5 m vapaan virtauksen jälkeen pystynousussa, ja sen virtausnopeus on 3-5 m/s. Tämä tarkoittaa, että jäteveden nopeus pohjakulmassa on sama kaikissa yli kolmikerroksisissa rakennuksissa, ja erillisiä viemäriosia virtauksen hidastamiseksi ei tarvita. (ASPE, 2015; White, P. 2011)

Jätevesi tarvitsee poistuessaan tilavuudeltaan 8-32-kertaisen määrän ilmaa. Mitä korkeampi rakennus on, sitä pidemmän matkan korvausilma kulkee ja sitä korkeampi virtausvastus korvausilmavirralla on. Virtausvastus kasvattaa jäteveden perässä olevaa alipainetta entisestään. Tämän lisäksi katolle sijoitettu tuuletusviemäri on altis tuulen aiheuttamalle alipaineelle. Putkiston alipaine voi imeä vesilukon tyhjäksi ja avata vapaan reitin viemäriin ilmalle. Viemäriin vallitsevan ylipaineen seurauksena vesilukko voi päästää viemäristä ilmaa sisäilmaan, ylipainetta voi esiintyä jäteveden saavuttaessa yli 45° kulman. (ASPE. 2015; Post, N. 2009)

Vaahtoavien pesuaineiden käyttö voi aiheuttaa ongelmia kaikkien asuinrakennusten jätevesijärjestelmissä, mutta ongelmiin törmätään erityisesti korkeissa rakennuksissa. Kun ylimmistä kerroksista poistuu vaahtoavaa ainetta viemäriin, se törmää moneen eri kerroksen haaraan ja sekoittuu jätevesien ja ilman kanssa aiheuttaen vaahtoa. Vesi on vaahtoa painavampaa, ja virtaa ongelmitta vaahdon ohi viemättä sitä mukanaan. Vaahto kerääntyy yli 45° kulmiin, ja voi pysyä viemäriin pitkiäkin aikoja. Veden mukanaan tuoma ilma ei pääse vaahdon tukkimassa viemäriin eteenpäin, vaan nostaa törmätessään vaahdon painetta. Jos vaahdolla ei ole muuta reittiä, voi sen paineen kasvu puhaltaa vaahtoa vesilukkojen läpi. Tällaisessa tilanteessa vesilukoissa on selvästi havaittavissa viemäristä tullutta vaahtoa. Kuvassa 10 on havainnollistettu viemäriin osia, joilla vaahdon paine voi kasvaa. Näihin osiin ei tule liittyä kytkentäviemärillä. (ASPE. 2015)

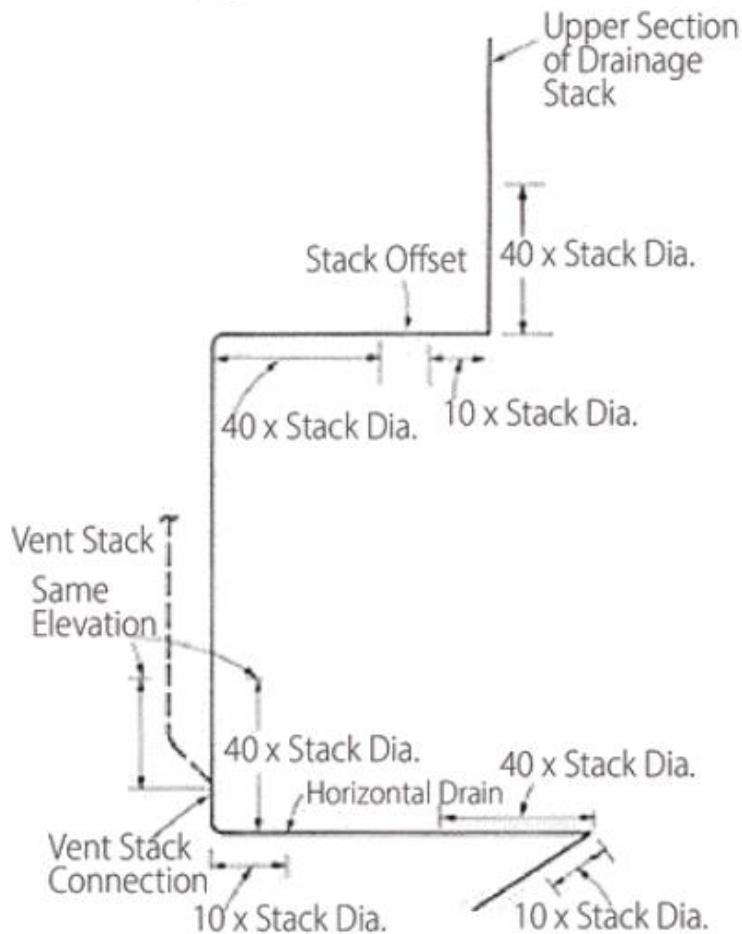


Figure 12-8 Suds Pressure Zones

Kuva 10. Viemäreiden osat, joilla vaahdon paine voi kasvaa (ASPE. 2015)

Paineenvaihtelua viemärijärjestelmässä vähennetään viemäreiden tuuletusjärjestelmällä. Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D1 ohjeistetaan tuulettamaan viemärijärjestelmä käyttämällä tarpeeksi väljiä viemäriputkia, jolloin mitoitusperusteena on viemäriputken täyttösuhde. Tämä mitoitusperuste ei ota huomioon tilannetta jossa putken pituus kasvaa merkittävän suureksi, kuten korkean rakennuksen viemärinousut. ASPE:n mukaan yli 10-kerroksisilla pystyviemäriosuuksilla tulisi olla erillinen tuuletusjärjestelmä liiallisen paineenvaihtelun estämiseksi, ja pystyviemäri tulisi tuulettaa 10 kerroksen välein. Tämä tarkoittaa erillisen tuuletusviemärinousun asentamista jätevesiviemäriin yhteyteen. Samalla tuuletusjärjestelmällä tulisi estää myös viemärien vaakasiirtojen paineenvaihtelua. Liitteessä 2 esitetään tuuletusviemäriin kytkentäperiaatteita.

(RakMK D1. 2007; ASPE. 2015)

3.4 Putkistojen lämpölaajeneminen

Putkistot suunnitellaan ja asennetaan mahdollisimman suoralinjaisiksi pienempien asennus- ja käyttökustannusten saavuttamiseksi. Korkeissa rakennuksissa erityisesti pystynousut ovat pitkiä ja suorita asennuksia, joissa putken lämpölaajeneminen voi aiheuttaa ongelmia. Lämpölaajenemisen suuruuteen vaikuttaa putken pituus, materiaali ja lämpötilan vaihtelu kaavan x mukaisesti. Taulukossa 2 on esitetty lämpölaajenemista yleisillä putkimateriaaleilla.

TAULUKKO 2. Lämpölaajeneminen (LVI 12-10330)

Putkimateriaali	Lämpö- pitenemis- kerroin α mm/m°C	Lämpötilaero Δt									
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
Teräs	0,012	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20
Ruostumaton teräs	0,016	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,44	1,60
Haponkestävä teräs	0,016	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,44	1,60
Kupari	0,018	0,17	0,34	0,50	0,67	0,84	1,01	1,18	1,34	1,51	1,68
PVC	0,08	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00
PB	0,12	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60	10,80	12,00
PP	0,15	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
PEM, PEH	0,17	1,70	3,40	5,10	6,80	8,50	10,20	11,90	13,60	15,30	17,00
PEL	0,18	1,80	3,60	5,40	7,20	9,00	10,80	12,60	14,40	16,20	18,00
PEX	0,19	1,90	3,80	5,70	7,60	9,50	11,40	13,30	15,20	17,10	19,00
Monikerrosmuovi (PEX-Al-PEX)	0,025	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50

Lämpölaajenemisen aiheuttamaa pituuden muutosta kompensoidaan liitostavoilla, paljettasaimilla ja paisuntakaarilla, lyhyissä johto-osuuksissa tämän hoitaa putkien suunnanmuutokset. Hallitsematon lämpölaajeneminen voi aiheuttaa vaurioita kannakkeissa ja putkien liitoksissa, sekä ääniongelmia ja putkiston käyttöiän alenemisen.

(Harju, P. 2016; LVI 12-10330)

4 TULOKSET

4.1 Painesuhteiden hallinta

Painesuhteiden hallinta rakennuksessa on tärkeätä rakennuksen ja tekniikan toiminnan, sisäilman laadun ja kosteusteknisen toiminnan takia. Painesuhteet tulee olla selvillä suunnitteluvaiheessa, jotta niiden hallintaa voidaan suunnitella. Hallitsemattomat paineolosuhteet rakennuksessa aiheuttavat kosteusteknisiä ongelmia, lämmitystarpeen kasvua, sisäilmaongelmia ja ongelmia tekniikan toiminnassa. Korkeissa rakennuksissa erityisesti hormivaikutus vaikeuttaa painesuhteiden hallintaan.

Hormivaikutuksesta ei ikinä päästä täysin eroon, mutta sitä voidaan hallita ja rajoittaa. Hormivaikutuksen hallinnan tulisi alkaa arkkitehtuurisista ja rakenteellisista ratkaisuista, joilla pyritään estämään ilmavuotoja rakennuksen vaipan yli ja sisäilman vertikaalista liikettä rakennuksessa.

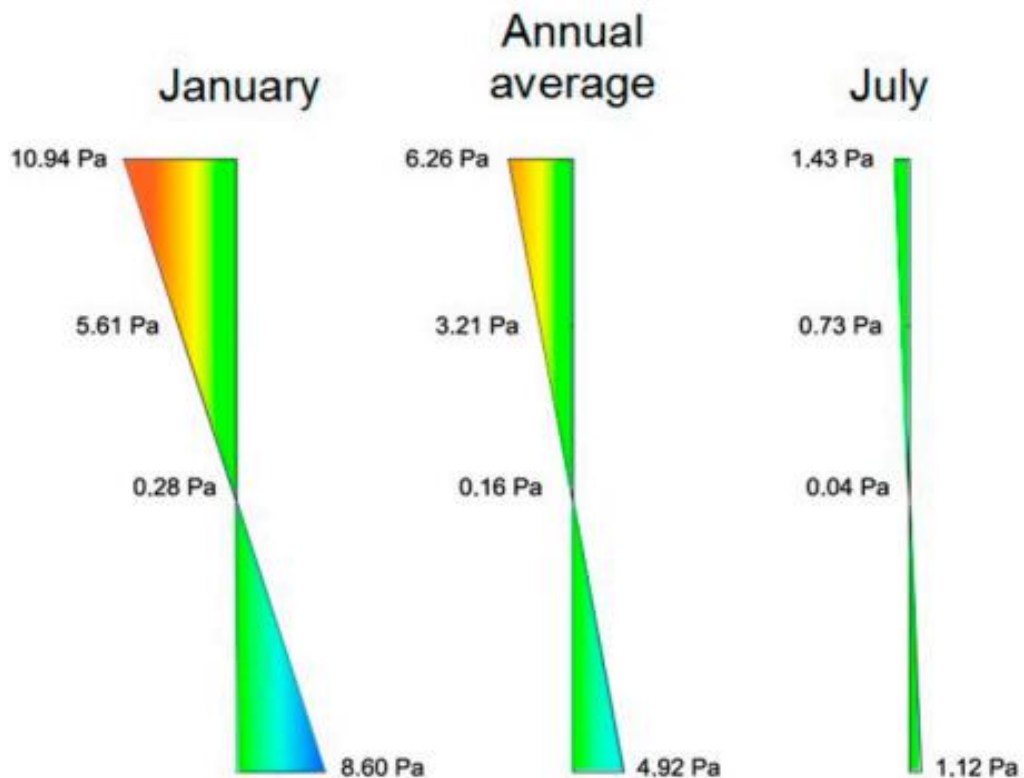
Erityistä huomiota vaativat ne rakennusosat, joista ilmaa normaalitilanteessa kulkee suuria määriä, näitä ovat mm. ulko-ovet, hissikuilut, rappukäytävät, läpiviennit ja roilot. Rakennuksen kuilut tulee osastoida, eli kuilut erotellaan muista tiloista tiiviillä väliovirakenteella. Kuiluissa vallitsevaa hormivaikutusta voidaan hillitä myös pitämällä kuilussa mahdollisimman matalaa lämpötilaa. Aukkoja rakennuksen välipohjissa ja erityisesti ulkovai-passa tulisi välttää, ja tarvittavat aukot tulee tiivistää asianmukaisesti. Ulko-ovien hallitsemattomia ilmavirtoja voidaan rajoittaa pyöröovia ja ovipuhalluksia käyttämällä. Rappukäytäviä tulisi mahdollisuuksien mukaan osastoida suljettavilla ovilla.

(Ross, D. 2004; Nybergh, C. 2014)

4.2 Ilmanvaihto ja painesuhteet

Rakennuksen paine-erot niin vaipan yli, kuin sisällä vyöhykkeiden välilläkin vaihtelee sään ja vuodenajan mukaan. Rakennuksen todelliset painesuhteet saadaan selville vasta valmiissa kohteessa tehtävillä mittauksilla. Suunnittelun avuksi on olemassa laskukaa-voja ja simulointiohjelmia, joilla voidaan arvioida tilojen paineita eri olosuhteissa.

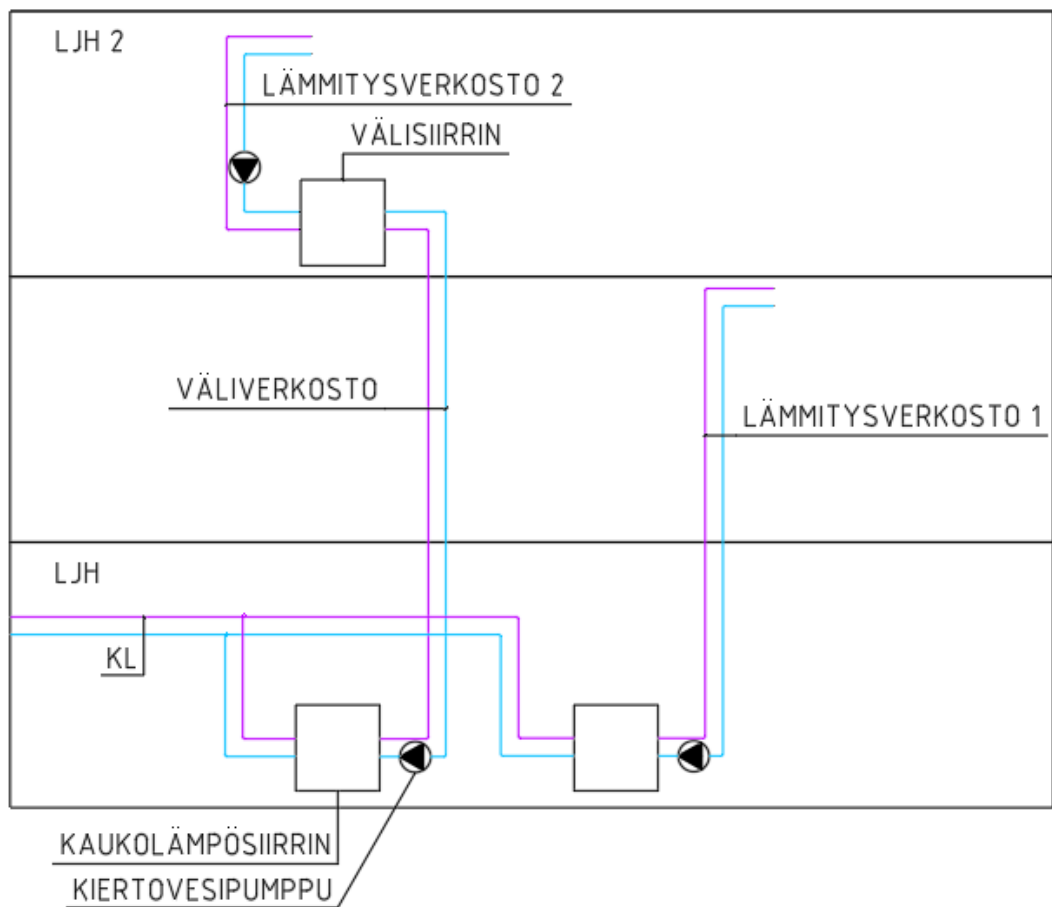
Jotta ilmanvaihtojärjestelmä toimisi, tulee järjestelmä olla suunniteltu toimimaan kaikissa olosuhteissa. Kuvassa 5 esitetty painegradientti esittää simuloitun kohteen paineen vaihtelua eri vuodenaikoina hormivaikutuksen aiheuttamana. Järjestelmän tasapainotuksessa tulee huomioida paine-erot rakennuksen sisällä, sekä paine-erojen muutos eri olosuhteissa. Esimerkiksi MagiCAD -suunnitteluohjelma ei ota tätä huomioon, vaan olettaa rakennuksen sisäisen paineen vakioksi kanaviston tasapainotuksessa. Oikeiden ilmavirtojen ylläpitäminen edellyttää reaaliaikaista mittausta ja säätöä. (ASHRAE. 2011)



KUVA 5. Simuloitun kohteen paine-erojen vuotuinen vaihtelu ja keskiarvo (Meiss, A. 2017)

4.3 Välisiirrinratkaisu

Välisiirrinratkaisussa kaukolämpösiirrin siirtää lämpöä väliverkkoon, jolla lämpö vietään kerroksissa sijaitsevalle välisiirtimelle. Väliverkosto on käytännössä pystynousu, jolla siirretään lämpö lämmönjakohuoneesta toiseen. Välisiirtimellä lämmitetään rakennuksen yläosan lämmitysverkkoa. Kuvassa 6 on havainnollistettu välisiirrinratkaisua. (Rajapuro, M. 2015)

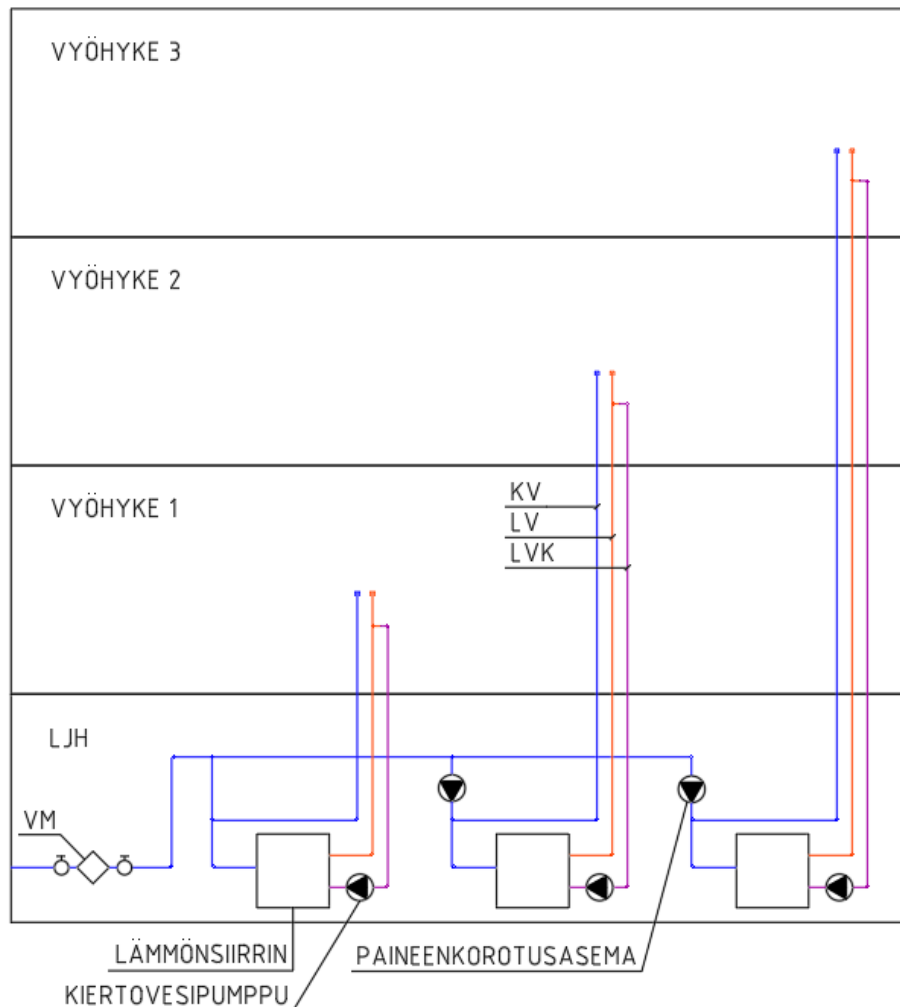


KUVA 6. Lämmitysverkon jako välisiirrintä käyttäen

4.4 Käyttöveden vyöhykejako

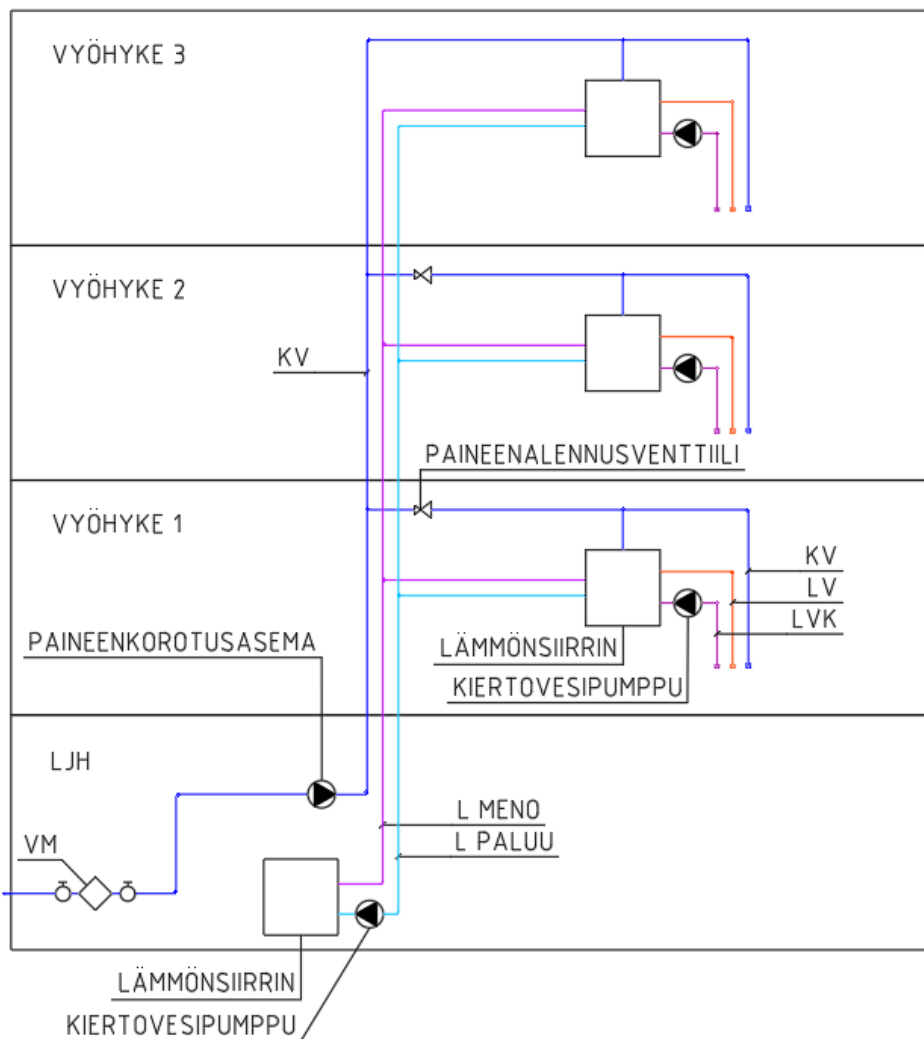
Kuvassa 7 esitettyssä periaatteessa alin vyöhyke toimii vesilaitoksen tarjoaman normaali-paineen avulla, ja ylemmillä vyöhykkeillä on paineenkorotusasemat. Tässä tapauksessa on huomioitava kaukolämpömääräysten asettama rajoitus käyttöveden toisiopuolen mak-simipaineelle, joka on 1 MPa. Maksimipaineen ylittyessä tulee kylmälle ja lämpimälle käyttövedelle asentaa omat paineenkorotusasemat siirtimen jälkeen. Jokaisella vyöhyk-keellä on omat lämmönsiirtimet, lämpimän käyttöveden kiertolenkit ja kiertovesipumput. Tällä kytkennällä lämpimän käyttöveden kierron toteutusta helpottaa paineenalennus-venttiilien pois jääminen.

(K1 kaukolämmityksen määräykset ja ohjeet; Edmondson, C. 2014)



KUVA 7. Periaatekuva käyttöveden jaosta vyöhykkeisiin

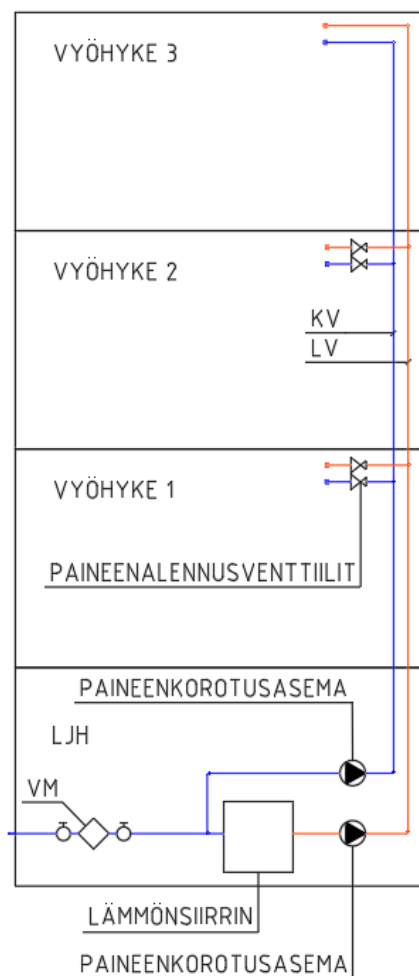
Myös kuvassa 8 esitetyssä periaatteessa jokaisella vyöhykkeellä on omat lämmönsiirtimet, lämpimän käyttöveden kiertolenkit ja kiertovesipumput. Kylmä käyttövesi tuodaan vyöhykkeille paineenkorotusasemalla varustetulla nousuputkella, jonka haaroissa on paineenalennusventtiilit. Vyöhykkeiden lämmönsiirtimet asennetaan vyöhykkeiden ylimpiin kerroksiin. Lämpö tuodaan vyöhykkeille pystynousussa, jonka siirrin on lämmönjakohuoneessa rakennuksen alaosissa. Tässä kytkennässä ongelmia voi aiheuttaa pystynousun liian matala lämpötila. (ASPE, 2015)



KUVA 8. Periaatekuva käyttöveden jaosta vyöhykkeisiin

Kuvassa 9 esitetty periaate on yleinen ja toimiva tapa jakaa käyttövedettä korkeissa rakennuksissa. Tässä kylmällä ja lämpimällä käyttövedellä on omat paineenkorotusasemat, jotka tuottavat riittävän paineen epäedullisimmilla vesipisteillä. Päänousun korkea paine tulee ottaa huomioon putkia ja varusteita valittaessa. Vyöhykkeisiin jako on toteutettu ottamalla joka vyöhykkeelle haara päänoususta, ja alentamalla vyöhykkeen painetta paineenalennusventtiilein. Vyöhykkeelle otetaan haara vyöhykkeen ylimmän kerroksen kautta ja jaetaan nousuputkella vyöhykkeen muihin kerroksiin. Liitteessä 1 on esitetty tässä periaatteessa käytettyjä lämpimän käyttöveden kierron kytkentätapoja.

(Connelly, D. 2007)



KUVA 9. Periaatekuva käyttöveden jaosta vyöhykkeisiin

5 POHDINTA

Opinnäytetyö tavoitteena on kerätä yhteen ratkaisuja, jotka täyttävät rakennuksen korkeuden lvi-talotekniikalle asettamat erityisvaatimukset ja Suomen rakennusmääräykset. Samalla työ esittelee rakennuksen korkeuden aiheuttamia ongelmia, erityistilanteita ja teorian ilmiöiden taustalla. Tarkoituksena ei ole keksiä pyörää uudelleen, vaan tietoa haetaan ensisijaisesti olemassa olevista ratkaisuista.

Työssä tuodaan esille korkeiden rakennusten tavanomaisista poikkeavia ongelmakohtia, jotka tulee taloteknisissä järjestelmissä huomioida. Tällaisia aiheuttavat pääasiassa hormivaikutus ja hydrostaattinen paine. Hormivaikutus saa rakennuksessa aikaan paineeroja, jotka vaihtelevat suuresti ulkoilman lämpötilan mukaan. Muuttuvat paine-erot haastavat ilmanvaihtojärjestelmää, jonka tulee toimia suunnitellusti kaikissa olosuhteissa. Hydrostaattinen paine rajoittaa nestettä sisältävien verkostojen rakennetta, verkostojen jako vyöhykkeisiin on tarpeen verkoston korkeuden rajoittamiseksi.

Ongelmiin esitetään käytössä olevia ratkaisuja, jotka täyttävät Suomen rakennusmääräyksiä asettamat vaatimukset. Järjestelmien suunnittelulle huomioitavia asioita tuodaan esille järjestelmäkohtaisesti, esillä ovat erityisesti painesuhteet, rakennusmääräykset ja järjestelmien rakenteet. Korkeiden rakennusten vaatimiin poikkeaviin ratkaisuihin tulisi ottaa kantaa rakennusmääräyksissä ja eri toimijoiden ohjeistuksissa. Tällä hetkellä korkeiden rakennusten viranomaishyväksyntä perustuu erillisselvityksiin.

Haasteena opinnäytetyössä oli aiheen laajuus, kaikissa järjestelmissä ei päästy kriteerit täyttäviin käytännön ratkaisuihin. Jatkotutkimusta vaatii erityisesti ilmanvaihdon toteutustavat, tasapainotus ja ohjaus korkeassa rakennuksessa muuttuvat painesuhteet huomioiden. Toteutustapoja löytyi paljon, mutta Suomessa tekniikan ja vaatimusten taso on korkea. Ongelmaksi muodostui olemassa olevien teknisten ratkaisujen soveltaminen Suomen vaatimustasolla. Ulkomaisia lähteitä käytettäessä tulisi tutustua syvemmin ulkomaiden määräyksiin ja mitoitusperusteisiin. Esimerkiksi viemärin tuuletusjärjestelmä voi vaatia erillisen tuuletusnousun maissa joissa viemärille sallitaan suurempi mitoitusvirtaama.

Jatkotutkimuksia voisi suorittaa Suomessa toteutettujen kohteiden LVI-teknisistä ratkaisuista. Niiden toimivuutta tulisi tutkia haastatteluiden ja mittausten avulla. Tällöin voitaisiin vertailla olemassa olevia ratkaisuja keskenään rakennusten käyttö ja sääolosuhteet huomioiden. Tutkimuksen edetessä mielenkiintoa herätti lisäksi korkean rakennuksen kosteustekninen toiminta rakennuksen yläosan ollessa ylipaineinen kylmissä olosuhteissa.

LÄHTEET

ASHRAE. 2011. 2011 ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications. SI ed. Atlanta, Georgia: ASHRAE.

ASHRAE. 2016. 2016 Ashrae handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning systems and equipment. Inch-Pound Edition. Atlanta, Georgia: ASHRAE.

ASPE. 2015. Advanced plumbing technology 2. Rosemont, IL: American Society of Plumbing Engineers.

ASPE. 2017. Domestic water recirculating systems. Luettu 14.3.2018
<http://www.clevelandaspe.org/Seminar%20Presentations.asp>

Connelly, D. 2007. High-rise Plumbing Design. Luettu 14.3.2018
<http://newcomb.newcombboyd.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2014/09/DMC-High-RisePlumbingDesign.pdf?x27976>

Edmondson, C. 2014. Domestic Hot Water Recirculation Part 8: Proper Application of Pressure Reducing Valves. Luettu 14.3.2018.
<http://jmpcoblog.com/hvac-blog/domestic-hot-water-recirculation-part-8-proper-application-of-pressure-reducing-valves>

Edmondson, C. 2014. Domestic Hot Water Recirculation Part 7: Balancing Systems with Multiple Risers. Luettu 14.3.2018.
<http://jmpcoblog.com/hvac-blog/domestic-hot-water-recirculation-part-7-balancing-systems-with-multiple-risers>

Harju, P. 2016. Vesi ja viemärointiteknikka. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Hens, H. S. L. C. 2012. Building Physics - Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises. 2nd ed. Somerset: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Technische.

Helsingin kaupunki. Korkean rakentamisen rakentamistapaohje. Ohjekortit. Julkaistu 5.6.2012. Luettu 5.1.2018. https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/KORKEAN_RAKENTAMISEN_RAKENTAMISTAPAOHJE_OHJEKORTIT.pdf

LVI-ohjekortti LVI 12-10330, Putkistojen lämpölaajeneminen. 2001. Rakennustieto. Luettu 15.3.2018

Mcnamara, R. 2016. A Study of Mechanical Systems in Canadian High-rise Multi-unit Residential Buildings. University of Waterloo.

Mijorski, S. & Cammelli, S. 2016. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. Chicago: Council on tall buildings and urban habitat.

Meiss, A., Padilla-Marcos, S & Feijó-Muñoz, J. 2017. Methodology Applied to the Evaluation of Natural Ventilation in Residential Building Retrofits: A Case Study. Valladolidin yliopisto

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S & Öistämö, J. 2005. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

Nybergh, C. 2014. Hormivaikutuksen hallinta korkeissa asuinkerrosrakennuksissa. Aalto-yliopisto.

Post, N. 2009. Plumbing design: Sanitary plumbing in high-rise buildings. Luettu 14.3.2018.

<https://www.scribd.com/document/130817233/Plumbing-design-in-High-Rise>

Rajapuro, M. 2015. Korkean asuinkerrostalon LVI-suunnittelu. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Julkaistu 16.8.2016. Luettu 13.3.2018.

https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Ross, D. HVAC desing guide for tall commercial buildings 2004. USA: ASHRAE. Luettu 3.12.2017. <http://hvacdesignresources.net/guidelines/design%20guide%20for%20tall%20buildings.pdf>

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys. 2008. Sisäilmasto. Luettu 9.2.2018.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto>

Steele, A. 2003. High-Rise Domestic Water Systems. Luettu 15.3.2018.

https://www.aspe.org/sites/default/files/webfm/ArchivedIssues/2003/Jan_Feb_03/28-34.pdf

Suomen tuuliatlas. Luettu 12.2.2018

<http://www.tuuliatlas.fi>

Suomen tuulivoimayhdistys ry. Luettu 12.2.2018

<http://www.tuulivoimatieto.fi>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, määräykset ja ohjeet 2007. Julkaistu 24.1.2007. Luettu 13.12.2017.

https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D1_2007.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Julkaistu 30.3.2011. Luettu 13.12.2017.

https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D2-2012_Suomi.pdf

Trechsel, H. R. & Bomberg, M. 2009. Moisture control in buildings: The key factor in mold prevention. 2nd ed. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Webster, W. 1999. Multi-unit residential building, Mechanical and electrical systems in apartments and multi-suite buildings. Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC).

White, P. 2011. Plumbing System Design, Tall building drainage. Society of Public Health Engineers. Luettu 14.3.2018.

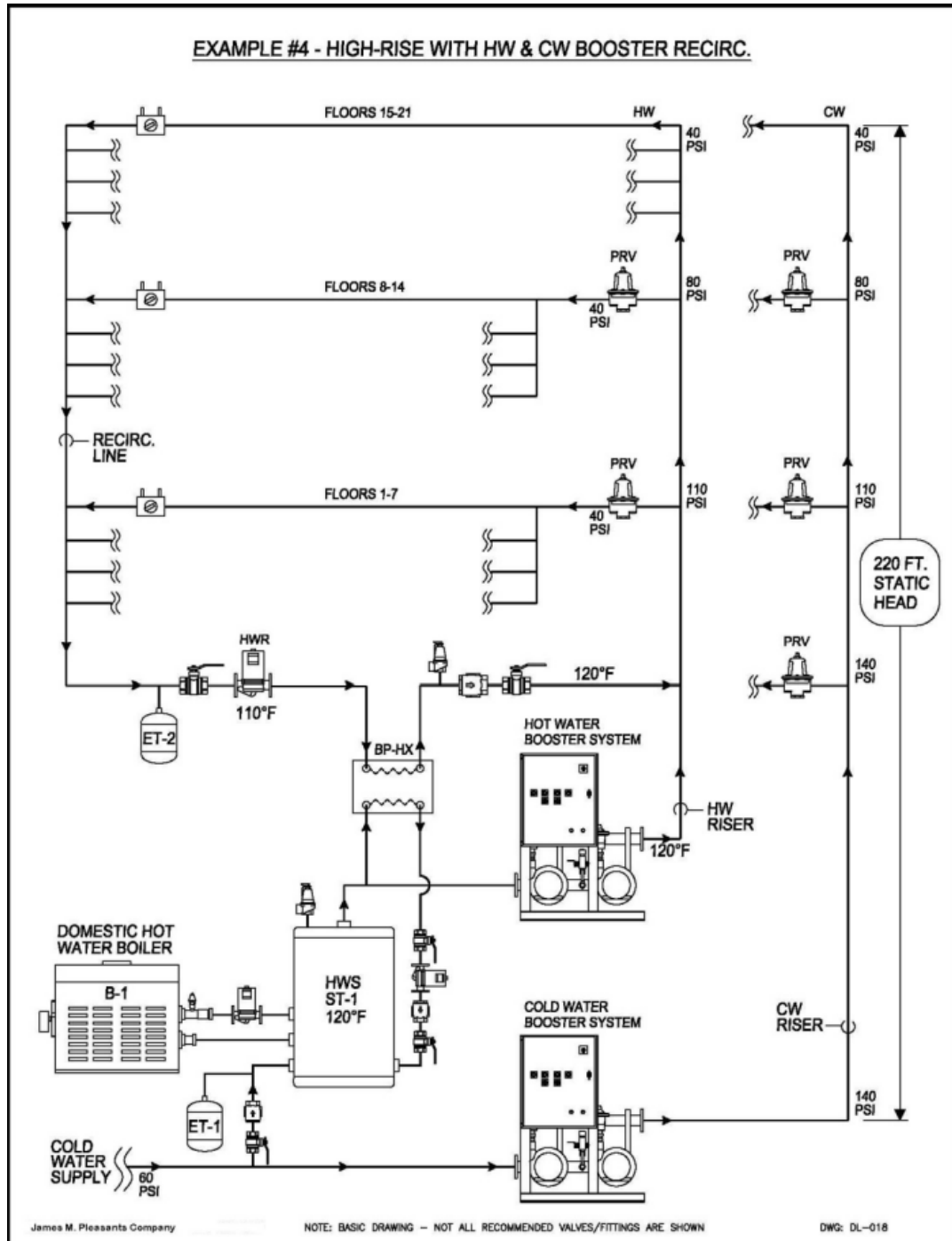
<https://www.cibse.org/getmedia/56352fa8-370c-4943-9638-77920939fe3b/The-control-of-air-pressure-within-tall-building-drainage-SoPHE-ppt-Compatibility-Mode.pdf.aspx>

Zolotareva, E. 2011. Mechanical supply and exhaust ventilation in high rise residential buildings in Russia. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

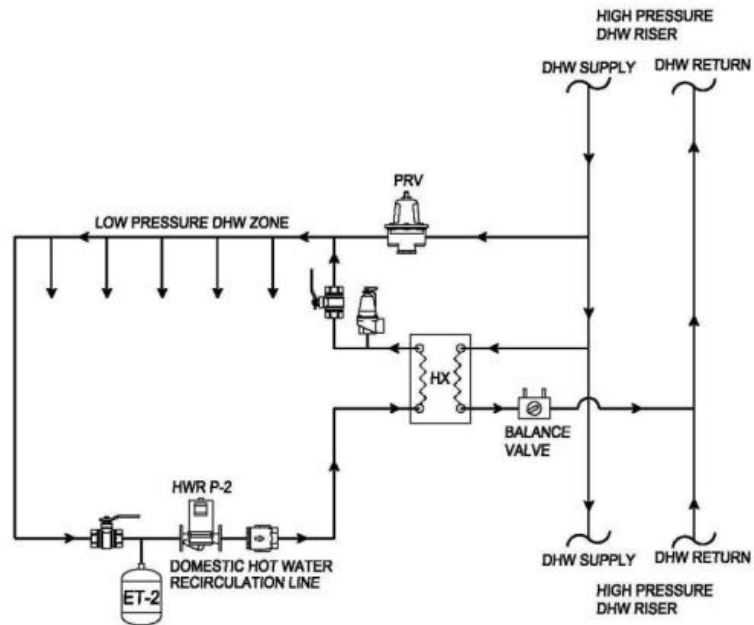
Liite 1. Lämpimän käyttöveden kierron kytkentä (ASPE, 2017)

1(2)



2(2)

**EXAMPLE #3B - HIGH RISE DHW RECIRCULATION
(HIGH PRESSURE DHW RISER WITH MULTIPLE HEAT EXCHANGERS)**

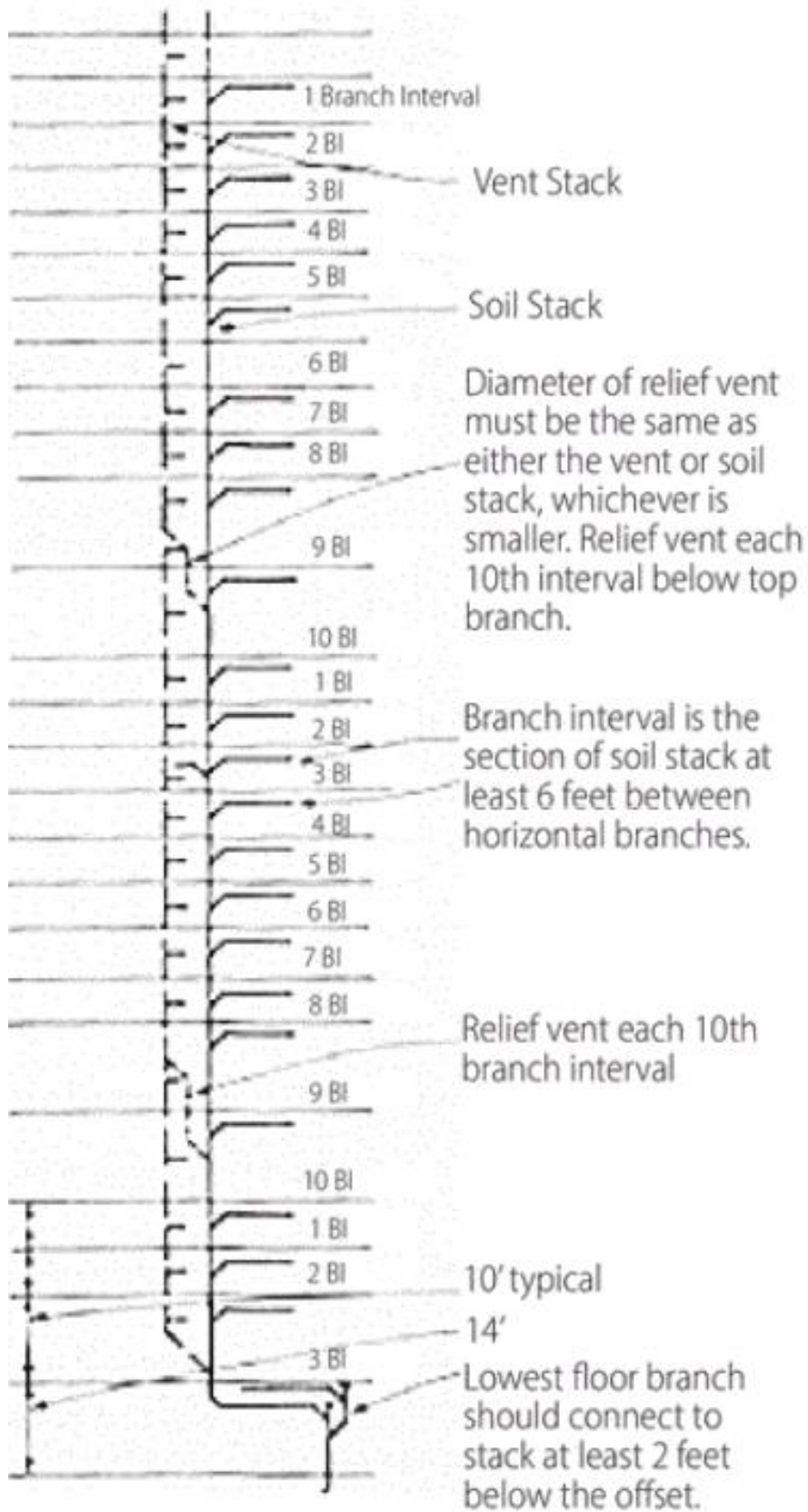


- PLUMBING APPLICATION -

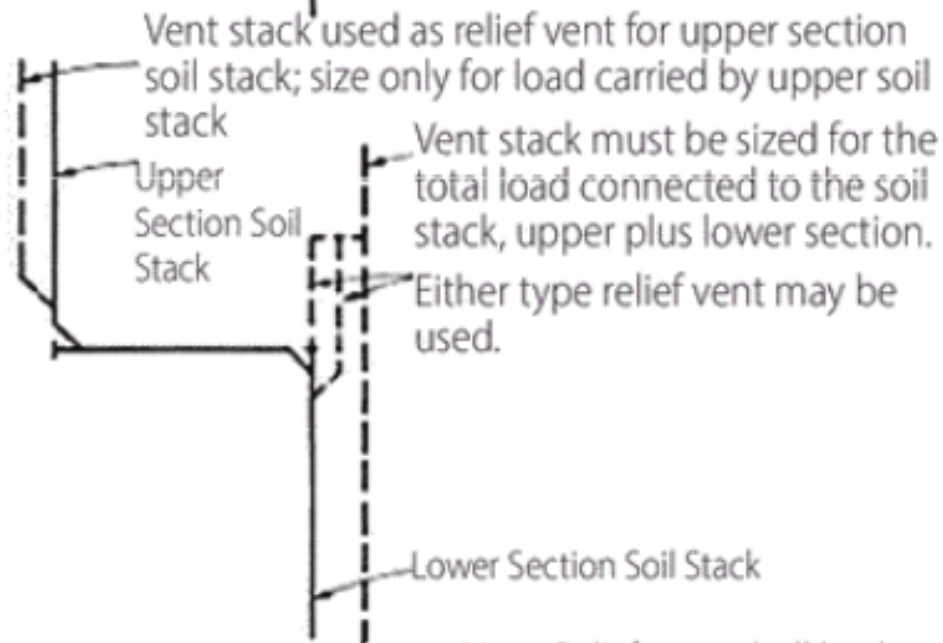
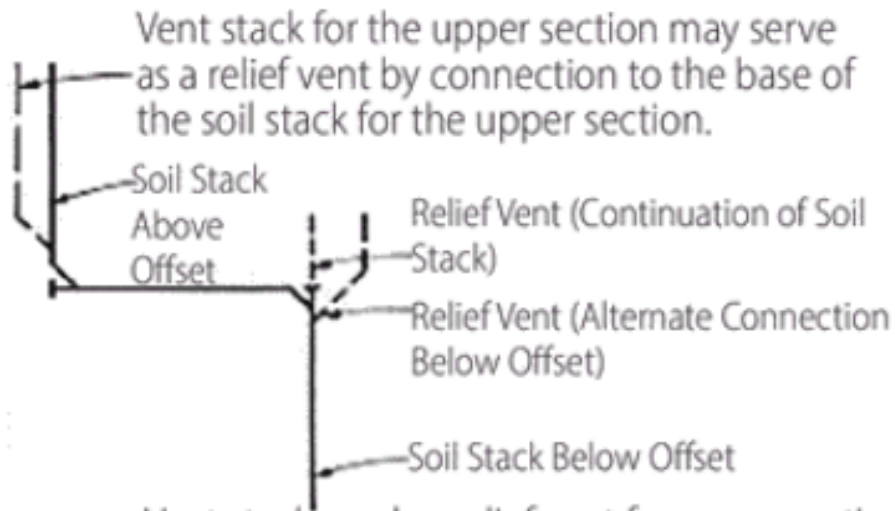
- RECIRCULATION WITHIN LOW PRESURE ZONE USING STAINLESS STEEL BRAZED PLATE HEAT EXCHANGER
- ELIMINATES NEED FOR HIGH PRESSURE/HIGH HEAD RETURN PUMP.
- SERVICE/ISOLATION, CHECK VALVES RECOMMENDED AT PUMP & HEAT EXCHANGER.
- HEAT EXCHANGER RELIEF VALVE & THERMAL EXPANSION TANK AS REQUIRED PER LOCAL CODES.

Liite 2. Tuuletusviemärin kytkentäperiaatteita (ASPE, 2015)

1(2)



2(2)



Note: Relief vents shall be the same size as the soil or vent stack, whichever is smaller.

