



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konstruktiotekniikan laitos

HIRREN MASSIIVISUUDEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN JA SISÄLÄMPÖTILOIHIN

17.6.2010

Tiina Sahakari ja Timo Kalema

Sisältö

Johdanto	3
Aineisto ja lähtötiedot	3
Tyyppirakennukset	3
Versiot	5
Laskenta ja tulokset	10
Simuloinnin asetukset	10
Tulokset	10
Herkkyystarkasteluja	19
Yhteenveto ja johtopäätökset	25

Johdanto

Tämän selvityksen on tilannut Hirsitaloteollisuus ry. Selvityksen ovat toteuttaneet tutkija Tiina Sahakari ja professori Timo Kalema Tampereen teknillisen yliopiston Konstruktitekniikan laitoksella. **Selvityksen ohjausryhmässä ovat toimineet xxxxxxxx.**

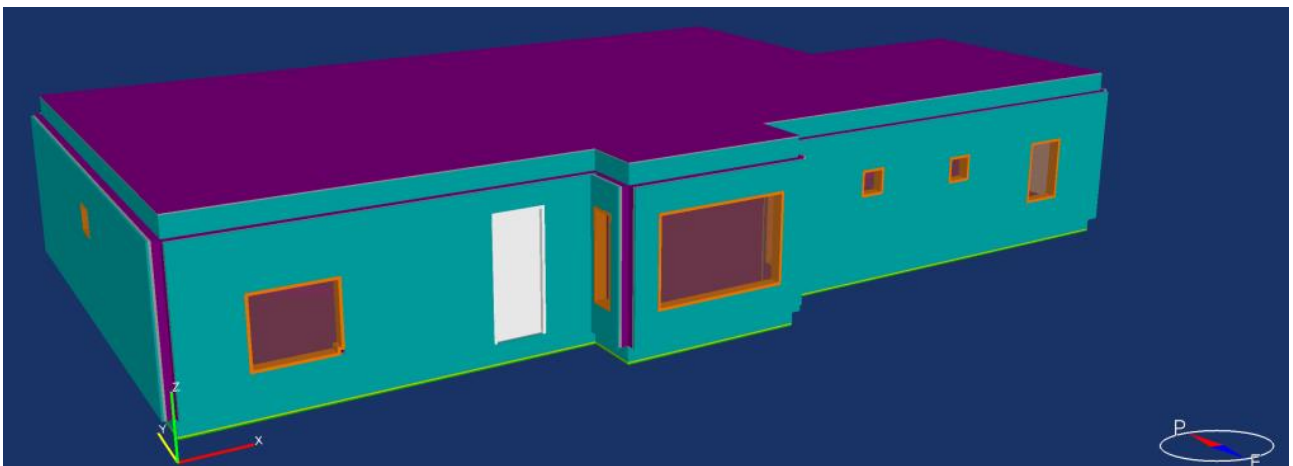
Selvityksen tarkoituksena on ollut tutkia hirren lämpökapasiteetin (massan) vaikutusta rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutukseen ja sisälämpötiloihin. Aihe on ajankohtainen, koska rakentamismääräysten lämmöneristysvaatimusten kiristäminen lisää massan merkitystä.

Työssä on laadittu kolme tyyppirakennusta, joiden ominaisuuksia muuttamalla on pystytty selvittämään hirren massan vaikutuksia. Työssä on käytetty IDA ICE -energiasimulointiohjelmaa sekä TASE-ohjelmaa, jolla on tehty joitakin herkkyystarkasteluja. Hirren massan vaikutusta on tutkittu tasaamalla vertailumallien ja tyyppirakennusten lämpöhäviöt, jolloin on saatu näkyviin hirren massa vaikutus.

Aineisto ja lähtötiedot

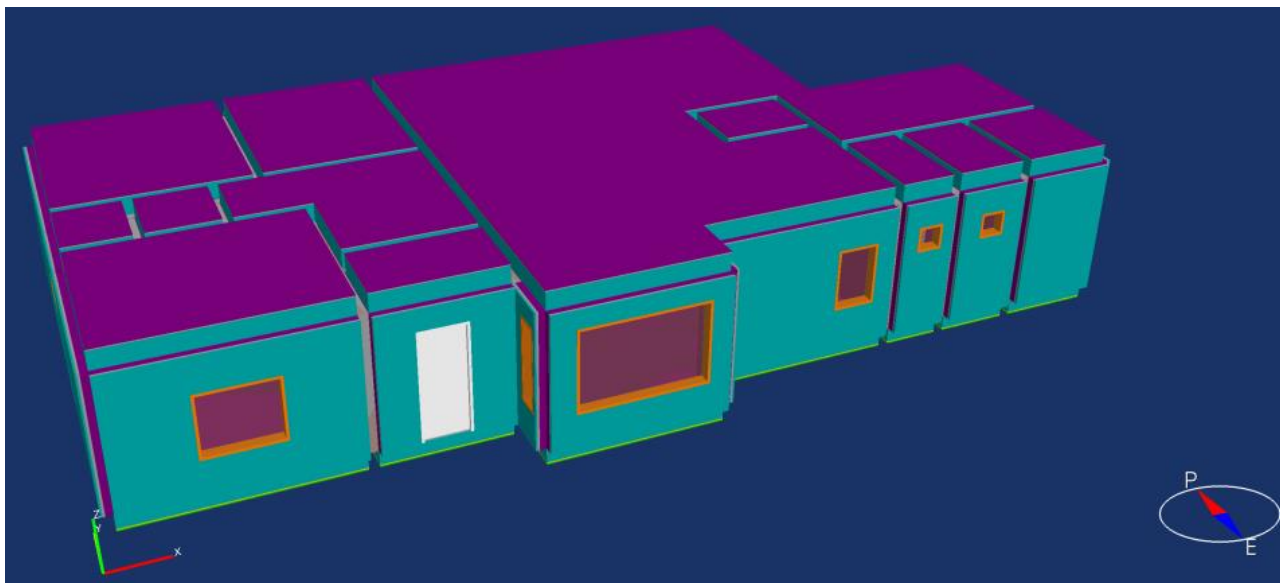
Tyyppirakennukset

Tarkastelua varten luotiin kolme perusmallia IDA ICE -ohjelman avulla. Malli 1 mukailee RET-pientaloa. Se on yksikerroksinen ja siinä rakennusta käsitellään yhtenä vyöhykkeenä. Kuva IDA-ICE -ohjelmalla rakennetusta rakennuksen 1 3D-malli on esitetty kuvassa **Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**



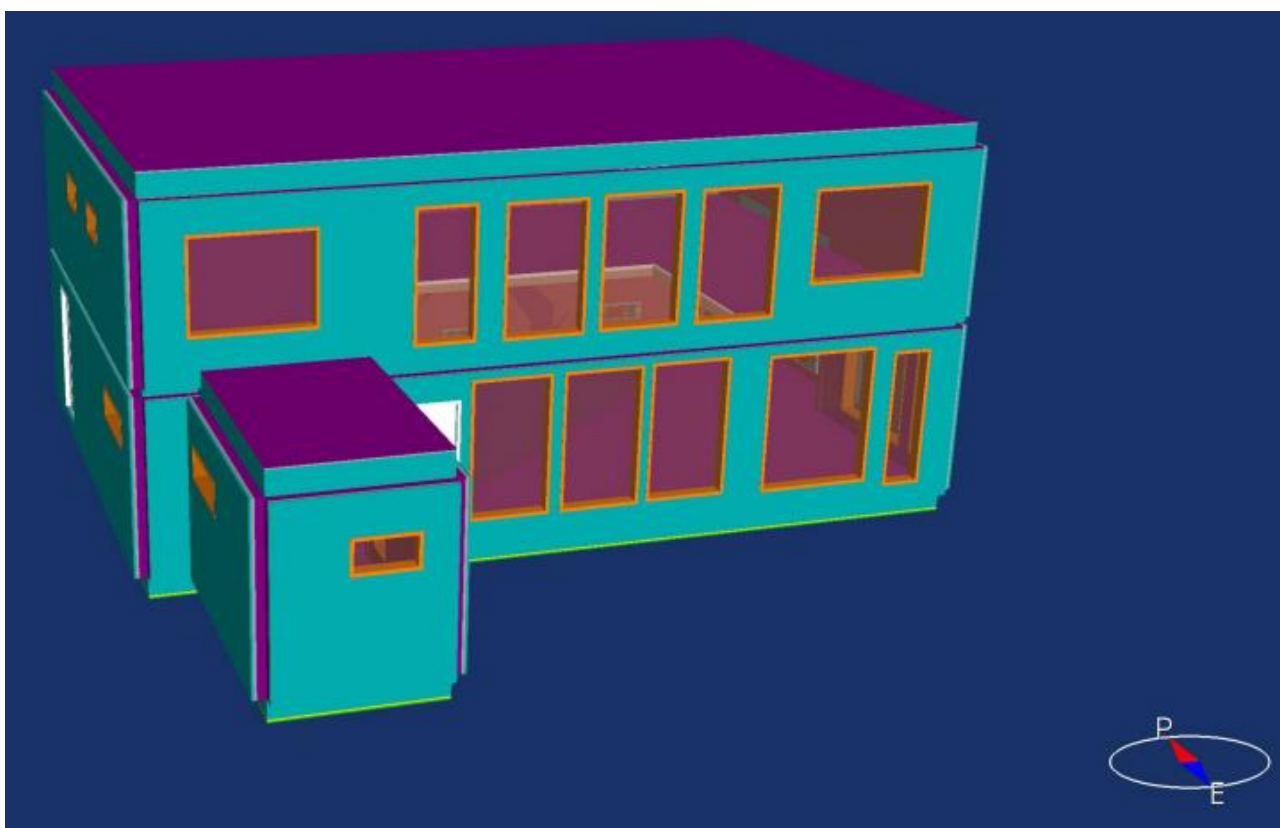
Kuva 1 Mallin 1 3D-kuva.

Mallin 2 ero malliin yksi on, että siinä rakennusta käsitellään useana vyöhykkeenä. Malli on siis rakennettu huoneittain. Sen 3D-malli on esitetty kuvassa Kuva 2.



Kuva 2 Mallin 2 3D-kuva.

Malli 3 on kaksikerroksinen talo. Sen 3D-malli on esitetty kuvassa Kuva 3.



Kuva 3 Kuva 3. Mallin 3 3D-kuva.

Neljäs malli oli yksikerroksinen talo, jota tarkasteltiin TASE-ohjelman avulla. Mallia käytettiin TASE-ohjelmalla tehtyihin herkkyystarkasteluihin. Rakennuksen tiedot ja laskennan tulokset on esitetty kappaleessa ”Herkkyystarkasteluja”.

Mallit mukailevat vuoden 2010 Suomen rakentamismääräysten vertailuarvoja hirsirakennukselle. Tämä vaikuttaa erityisesti rakenteiden lämmönläpäisyyseen, rakennuksen ilmanvuotoon ja ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton vuosihyötysuhteeseen.

Perusmalleina pidettiin rakennusta, jossa oli lautaverhoilulla varustettu tyypillinen seinärakenne, joka kuitenkin muodostettiin niin, että sen keskimääräiseksi lämmönläpäisykertoimeksi (W/m^2K) tuli vuoden 2010 Rakentamismääräysten hirsiseinän U-arvon vertailuarvo. Rakennuksen sisäiset väliseinät otettiin huomioon sisäseinämassana ja monivyöhykemallissa sisäseinät muodostuivat vyöhykkeiden välille. Rakennusten lämmitysmuodoksi asetettiin suora sähkölämmitys. Rakennukseen tuotiin myös koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä tarvittaessa ideaalinen, koneellinen jäähdytys. Yksikerroksisiin rakennuksiin laitettiin neljä asukasta ja kaksikerroksiseen rakennukseen viisi asukasta. Heille asetettiin tietyt läsnäoloaikataulut. Tämän lisäksi rakennuksiin laitettiin valaistus ja sille tietty käyttöaikataulu sekä tietty kalustus, joka vaikuttaa rakennuksen sisäiseen massaan.

Versiot

Jotta voitiin selvittää hirren massan vaikutusta rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutukseen, kolmesta vihreällä taulukossa Taulukko 1 esitetystä perusmallista tehtiin erilaisia muunnelmia IDA ICE -ohjelmalla. Saatuja tuloksia vertailtiin sitten perusmalleihin ja toisiinsa. Taulukossa Taulukko 1 on esitetty jokaisesta mallista muodostetut eri versiot.

Lisäksi TASE-ohjelmalla tehtiin tarkastelu, jossa tutkittiin massan vaikutusta 205 mm paksuisilla seinillä varustetussa hirsitalossa. Tämän tarkastelun tulokset on esitetty ”Herkkyystarkasteluja” -osiossa.

Taulukko 1 Tarkasteltavat mallit 1,2 ja 3 sekä niiden eri versiot.

Version numero ja nimi	Tehdyt muunnokset perusmalliin
1 RET-normitalo	
1.1 RET-normitalo_ei jäähdytystä	Mallista on poistettu jäähdytys.
1.2 RET-normitalo_tuloilma 17 °C	Mallin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.
1.3 RET-hirsitalo270_hirsiväliseinämassa	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä ja vyöhykkeen sisäinen kevyt väliseinämassa on korvattu hirsiväliseinämassalla. Väliseinärakenteen paksuus on sama 0,185 m.
1.4 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä.
1.5 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_ei jäähdytystä	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallista on poistettu koneellinen jäähdytys.
1.6 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_tuloilma 17 °C	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.
2 RET-normitalo_vyöhykkeet	
2.1 RET-normitalo_vyöhykkeet ei jäähdytystä	Mallista on poistettu jäähdytys
2.2 RET-normitalo_vyöhykkeet_tuloilma 17 °C	Mallin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.
2.3 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_hirsiväliseinät	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä ja vyöhykkeiden väliset väliseinät ovat hirttä. Väliseinärakenteen paksuus on sama 185 mm.
2.4 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä.
2.5 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät_ei jäähdytystä	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallista on poistettu koneellinen jäähdytys.
2.6 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät_tuloilma 17 °C	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.
3 2K-normitalo_suuntaus etelä	
3.1 2K-normitalo_suuntaus pohjoinen	Tyyppirakennusta on käännetty 180 ° vaakatasossa, jolloin ison ikkunapinta-alan omaava seinä on osoittanut kohti pohjoista.
3.2 2K-hirsitalo270_suuntaus pohjoinen_kevytväliseinämassa	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Rakennusta on käännetty tyyppirakennukseen verrattuna 180 ° vaakatasossa, jolloin ison ikkunapinta-alan omaava seinä on osoittanut kohti pohjoista.
3.3 2K-normitalo_suuntaus etelä_ei jäähdytystä	Mallista on poistettu jäähdytys.
3.4 2K-normitalo_suuntaus etelä_tuloilma 17 °C	Mallin tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.
3.5 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_hirsiväliseinämassa	Mallin ulkoseinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä ja vyöhykkeen sisäinen kevyt väliseinämassa on korvattu hirsiväliseinämassalla. Väliseinärakenteen paksuus on sama 185 mm.
3.6 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä.
3.7 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa_ei jäähdytystä	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallista on poistettu koneellinen jäähdytys.
3.8 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa_tuloilma 17 °C	Mallin seinät ovat 270 mm paksuisesta hirrestä. Mallin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvo on muutettu 21 °C:sta 17 °C:en.

Mallien ja versioiden tarkat lähtötiedot on esitetty Excel-tiedostoina liitteessä 1. Taulukoissa Taulukko 2, Taulukko 3 ja Taulukko 4 on esitetty kunkin mallin 1,2 ja 3, sekä niiden eri versioiden keskeiset lähtötiedot.

Taulukko 2 Mallin 1 eri versioiden keskeisiä lähtötietoja

Mallin numero /lähtötietoja	1 RET-normitalo	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Huoneistoala, m ²	145,3						
Tilavuus, m ³	377,8						
henkilömäärä	4						
vaipan ala, m ²	435,8						
ikkuna-/lattia-ala %	12,8						
valaistus	13 kappaletta 100 W lamppua, jotka päällä joka päivä 3 h ajan						
laitteet	10 kappaletta 400 W laitetta, jotka päällä joka päivä 3 h ajan						
huonekalut	oletuskalusteet 29,6 m ²						
sähkölämmityspatterit ,kW	6						
jäähdytys kW	6	-	6	6	6	-	6
IV-kone	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto						
• LTO-hyötysuhde, %	75						
• Ilmavirrat, dm ³ /sm ²	vakio 0,35						
• tulolämpötilan asetusarvo, °C	21	21	17	21	21	21	17
• muuta	LTO pois päältä kesä-, heinä- ja elokuun						
U-arvot ,W/m ² K	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.						
• lattia (maanvastainen)	0,16						
• seinä	0,41						
• ovet	1,00						
• ikkunat	1,09						
• katto	0,09						
Hirren ominaisuudet	- Lämmönjohtavuus, W/mK 0,12 - Tiheys, kg/m³ 513 - Ominaislämpökapasiteetti, J/kgK 1500						
Normaalitalon ulkoseinä	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.						
Sisäseinät	Kevyt sisäseinämassa			hirsiväliseinämassa		kevyt väliseinämassa	

Taulukko 3 Mallin 2 eri versioiden keskeisiä lähtötietoja

Mallin numero /lähtötietoja	2 RET-normitalo, monivyohekemalli	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
huoneistoala m ²	145,3						
tilavuus m ³	377,8						
henkilömäärä	4						
vaipan ala m ²	435,8						
ikkuna-/lattia-ala %	12,8						
valaistus	Valaistus mukailee mallin 1 valaistusta. Käyttöaikataulu on sama ja valaistus on jaettu eri vyöhykkeille vyöhykkeiden pinta-alojen suhteessa						
laitteet	Valaistus mukailee mallin 1 valaistusta. Käyttöaikataulut on sama ja valaistus on jaettu eri vyöhykkeille vyöhykkeiden pinta-alojen suhteessa						
huonekalut	oletuskalusteet 29,6 m ²						
sähkölämmityspatterit kW	6						
jäähdytys kW	6	-	6	6	6	-	6
IV-kone	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto						
• LTO-hyötysuhde %	75						
• ilmavirrat dm ³ /sm ²	vakio 0,35						
• tulolämpötilan asetusarvo °C	21	21	17	21	21	21	17
• muuta	LTO pois päältä kesä-, heinä- ja elokuun						
U-arvot W/m ² K	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.						
• lattia (maanvastainen)	0,16						
• seinä	0,41						
• ovet	1,00						
• ikkunat	1,09						
• katto	0,09						
Hirren ominaisuudet							
• Lämmönjohta-vuus W/mK	0,12						
• Tiheys kg/m ³	513						
• Ominaislämpökapasiteetti J/kgK	1500						
Normaalitalon ulkoseinä	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.						
Sisäseinät	kevyet väliseinät			hirsiväliseinät		kevyet väliseinät	

Taulukko 4 Mallin 3 eri versioiden keskeisiä lähtötietoja

Mallin numero /lähtötietoja	3 Kaksikerroksinen normitalo	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
huoneistoala m ²	204,0								
tilavuus m ³	542,9								
henkilömäärä	5								
vaipan ala m ²	448,8								
ikkuna-/lattia-ala %	23,7								
valaistus	20 noin 100 W lamppua, jotka päällä päivittäin 3 h ajan								
laitteet	Alakerrassa 10 noin 300 W ja yläkerrassa 10 noin 250 W laitetta, jotka päällä joka päivä 3 h ajan								
huonekalut	Oletuskalusteet 40,8 m ²								
sähkölämmityspatterit kW	10								
jäähdytys kW	10	10	10	-	10	10	10	-	10
IV-kone	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto								
• LTO-hyötysuhde %	75								
• Ilmavirrat, dm ³ /sm ²	vakio, alakertavyöhyke 0,36 ja yläkertavyöhyke 0,35								
• tulolämpötilan asetusarvo, °C	21	21	21	21	17	21	21	21	17
• muuta	LTO pois päältä kesä-, heinä- ja elokuun								
U-arvot, W/m ² K	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.								
• lattia (maanvastainen)	0,16								
• seinä	1,41								
• ovet	1,00								
• ikkunat	1,09								
• katto	0,09								
Hirren ominaisuudet									
• Lämmönjohtavuus, W/mK	0,12								
• Tiheys kg/m ³	513								
• Ominaislämpökapasiteetti J/kgK	1500								
Normaalitalon ulkoseinä	Ulkoseinää huononnettiin hieman, jotta rakennuksille saatiin samat lämpöhäviöt. Normaalitalon ulkoseinä koostui lautaverhouksesta, lämmöneristeestä ja kipsilevystä. Hirsiseinä on 270 mm paksuisesta hirrestä.								
Sisäseinät	kevyt väliseinämässä					hirsiväliseinämässä		kevyt väliseinämässä	

Laskenta ja tulokset

Simuloinnin asetukset

Simulointi toteutettiin IDA ICE -energiasimulointiohjelmalla tunnin aikajaksoilla yhdelle vuodelle. Simuloinnissa käytettiin Helsingin vuoden 1979 säätietoja ja tuuliprofiilina käytettiin esikaupunkialueelle tyypillistä tuuliprofiilia. Kunkin mallin 1, 2 ja 3 eri versiot pyrittiin asettamaan perusmallia vastaavaksi lämpöhäviöiden osalta, jotta voitiin tarkastella hirren massa vaikutusta. Simulointi toimii siten, että aika-askleet voivat aiheuttaa tiettyjä eroja simulointituloksiin. Lämpöhäviöihin jäi suurimmillaan noin 0,3 % (noin 50 kWh/vuosi) ero, verrattaessa versiota sitä vastaavaan perusmalliin. Laskennassa ei myöskään otettu huomioon järjestelmien häviöitä ja kylmäsiltoja, koska tarkoitus oli tutkia nimenomaan massa vaikutusta lämmitys- ja jäähdytysenergiaan ja sisälämpötiloihin. Myös ikkunoiden ja ovien oletettiin olevan koko ajan suljettuina ja ikkunoissa ei oletettu olevan varjostuksia, mikä nostaa sisälämpötiloja jonkin verran.

Tulokset

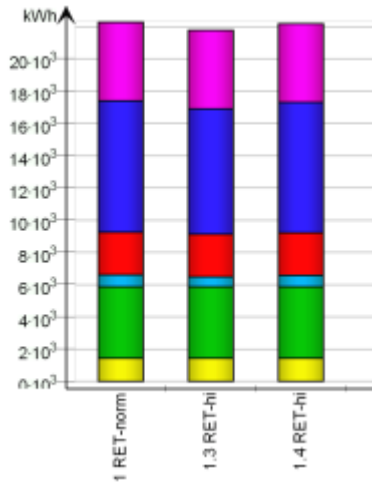
Simuloinnin avulla malleille ja niiden eri versioille saatiin vuosittaiset lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukset sekä muun sähkön kulutus. Lisäksi saatiin mallien vyöhykkeiden sisälämpötilat. Taulukoissa 5,9 ja 10 on esitetty eri versioiden ostoenergiankulutukset lämmitykselle ja jäähdytykselle. Lisäksi on esitetty eri mallien välisiä vertailukuvia ostoenergian, lämmityksen ja jäähdytyksen aikaisen tuntuvan energian ja sisälämpötilojen suhteen. Simulointien tulokset on lisäksi esitetty liitteissä 2, 3 ja 4. Taulukossa 5 on esitetty yksivyöhykkeisen RET-talon sekä sen eri versioiden simulointien tuloksia.

Taulukko 5 Mallin 1 eri versioiden energiankulutukset lattiapinta-alaa kohti ja absoluuttisesti.

Version numero ja nimi	Sähköpatterit kWh/m ² (kWh)	IV:n lämmitys kWh/m ² (kWh)	Jäähdytys kWh/m ² (kWh)	LVI- sähkö kWh/m ² (kWh)	Valaistussähkö kWh/m ² (kWh)	Laitesähkö kWh/m ² (kWh)	Lämmin vesi kWh/m ² (kWh)	Kokonais- energia kWh/m ² (kWh)
1 RET-normitalo	56,1 (8156)	18,1 (2631)	5,2 (754)	0 (4)	9,9 (1442)	30,5 (4436)	33,6 (4882)	153,5 (22305)
1.1 RET-normitalo_ei jäähdytystä	54,6 (7941)	17,8 (2592)	-	0 (4)	9,9 (1444)	30,6 (4442)	33,6 (4882)	146,6 (21305)
1.2 RET-normitalo_tuloilma 17 °C	65,8 (9553)	6,7 (976)	4,3 (621)	0 (2)	9,9 (1441)	30,5 (4434)	33,6 (4882)	150,8 (21909)
1.3 RET-hirsitalo270_hirsiväliseinämassa	53,6 (7793)	18,2 (2639)	4,2 (613)	0 (4)	9,9 (1441)	30,5 (4434)	33,6 (4882)	150,1 (21806)
1.4 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa	55,7 (8092)	18,1 (2632)	5,0 (728)	0,0 (4)	9,9 (1441)	30,5 (4432)	33,6 (4882)	152,9 (22211)
1.5 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_ei jäähdytystä	54,4 (7909)	17,9 (2596)	-	0 (4)	9,9 (1442)	30,5 (4337)	33,6 (4882)	146,4 (21270)
1.6 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_tuloilma 17 °C	65,2 (9470)	6,7 (976)	4,1 (594)	0 (2)	9,9 (1441)	30,5 (4434)	33,6 (4882)	150,0 (21799)

Kuvassa Kuva 4 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 ostoenergiaton vertailtu keskenään malleja 1, 1.3 ja 1.4. Taulukossa Taulukko 6 on esitetty kuvan 4 selitykset. Taulukosta 6 näkee myös miten massa vaikuttaa lämmitys- ja

Taulukko 6 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 ostoenergiat.



	1 RET-norm		1.3 RET-hi		1.4 RET-hi	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	1442	9.9	1441	9.9	1441	9.9
Equipment, facility	4436	30.5	4434	30.5	4432	30.5
Cooling	754	5.2	613	4.2	728	5.0
HVAC aux	4	0.0	4	0.0	4	0.0
Heating	2631	18.1	2639	18.2	2632	18.1
Sähköt	8156	56.1	7793	53.6	8092	55.7
Yhteensä, Kiinteistö	17423	119.9	16924	116.5	17329	119.3
Domestic hot water	4882	33.6	4882	33.6	4882	33.6
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	4882	33.6	4882	33.6	4882	33.6
Yhteensä	22305	153.5	21806	150.1	22211	152.9

*Lämpöarvo

Kuva 4 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 ostoenergiat

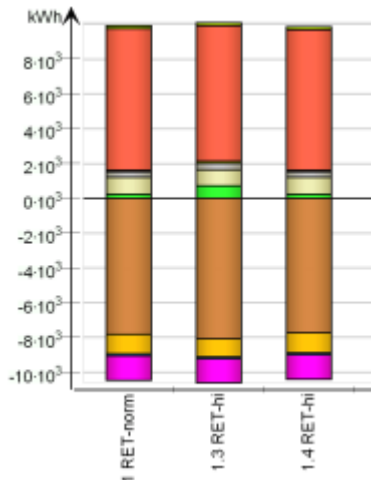
jäähdytysenergiankulutukseen

Kuvasta Kuva 4 ja taulukosta Taulukko 6 voidaan havaita, että mallin "1.3 RET-hirsitalo270_hirsiväliseinämassa" ostoenergiankulutus on näistä kolmesta mallista pienin. Malleissa "1 RET-normitalo" ja "1.4 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa", väliseinämassaksi on asetettu kevyt väliseinä rakenne. Hirsiväliseinämassalla varustetun hirsitalon ostoenergiankulutus on vuodessa noin 499 kWh (3,4 kWh/m², 2,2 %) pienempi kuin mallin "1 RET-normitalo". Ero tulee lämmitys- ja jäähdytysenergiassa. Mallin "1.4 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa" ja mallin "1 RET-normitalo" vastaava ero on 94 kWh (0,65 kWh/m², 0,4 %). Kun tarkastellaan pelkkää lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, hirsiväliseinämassalla varustettu hirsitalon ostettu lämmitysenergia on 355 kWh/3,3 % pienempi kuin mallin 1 (RET-normitalo) ja jäähdytysenergia vastaavasti 141 kWh/18,7 % pienempi. Verrattaessa kevyellä väliseinämassa varustettua hirsitaloa ja perusmallia (1 RET-normitalo), vastaavat luvut ovat lämmitykselle 63 kWh/0,6 % ja jäähdytykselle 26 kWh/3,4 % hirsitalon eduksi.

Verrattaessa keskenään versioita "1.6 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_tuloilma 17 °C" ja "1.2 RET-normitalo_tuloilma 17 °C", joissa on kevyt väliseinämassa, ja joissa ilmanvaihdon tulolämpötilan asetusarvoiksi on asetettu 17 °C 21 °C:n sijaan, ero lämmitysenergiassa on 83 kWh/0,8 %, jäähdytysenergiassa 27 kWh/4,3 % ja kokonaisenergiassa 110 kWh/0,5 % hirsitalon hyväksi. Verrattaessa keskenään versioita "1.5 RET-hirsitalo270_kevytväliseinämassa_ei_jäähdytystä" ja "1.1 RET-normitalo_ei_jäähdytystä", joissa on kevyet väliseinämassat eikä lainkaan jäähdytystä, ero lämmitysenergiassa on 32 kWh/0,3 % ja kokonaisenergiassa 35 kWh/0,2 %.

Näyttäisi siltä, että hirsitalossa, jossa ei ole hirsiväliseinämassaa, massan vaikutus kokonaisostoenergiaan on suhteellisen pieni. Hirsiseinämassalla varustetussa hirsitalossa vaikutus on suurempi. IDA ICE:n

simulaatio tapahtuu tiettyjen aika-askelten mukaisesti, joiden takia tulokset saattavat muuttua hieman eri simulointikerroilla. Eri osatekijöiden tuloksissa voi olla pieniä, noin 0,2 kWh/m² eroja suuntaan tai toiseen. Kuvassa Kuva 5 on esitetty mallien 1, 1.3 ja 1.4 lämmityksen aikaiset tuntuvat energiat.



Kuva 5 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 lämmityksen aikaiset tuntuvat energiat.

Taulukossa Taulukko 7 on esitetty Kuvaan 4 liittyvät mallien 1, 1.3 ja 1.4 lämmityksen aikaiset tuntuvat energiat.

Taulukko 7 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 lämmityksen aikaiset tuntuvat energiat.

Energia kaikille vyöhykkeille (vain tuntuva)

Lämmityksen aikana

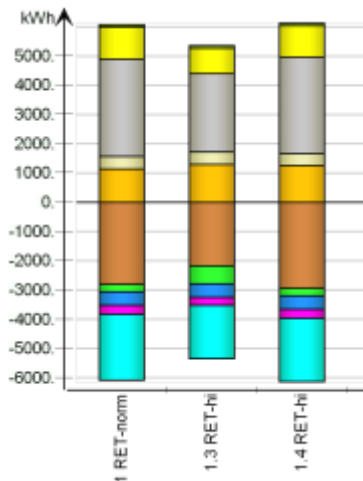
kWh

Tapaus	Valppa ja Kylmäsillat	Sisäseinät ja massat	Ulkoikkunat ja Auringon säteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & Aukot	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Paikalliset lämmityslaitteet	Paikalliset jäähdytyslaitteet	Jakeluhäviöt
1 RET-norm	-7811.1	228.9	-1131.7	-103.9	-1397.2	981.4	311.7	101.3	8152.8	0.0	175.4
1.3 RET-hi	-8066.7	708.3	-1022.2	-104.1	-1387.2	933.3	373.3	121.4	7788.9	0.0	170.9
1.4 RET-hi	-7727.8	229.4	-1159.4	-104.5	-1399.2	985.3	316.4	102.9	8088.9	0.0	175.1

Kuvasta Kuva 5 ja taulukosta Taulukko 7 nähdään havainnollisesti, kuinka hirsiväliseinämassa pienentää lämmityksen tarvetta suuremman termisen massan vaikutuksen johdosta. Pelkän hirsisulkoseinän vaikutus ei ole läheskään yhtä suuri, mutta kuitenkin positiivinen energiatehokkuuden näkökulmasta.

Hirsiväliseinämassat pienentävät lämmityksen aikaista lämmön tarvetta tässä noin 480 kWh vuodessa.

Kuvassa Kuva 6 on esitetty mallien 1, 1.3 ja 1.4 jäähdytyksen aikaiset tuntuvat energiat.



Kuva 6 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 jäähdytyksen aikaiset tuntuvat energiat.

Taulukossa Taulukko 8 on esitetty Kuvaan 4 liittyvät mallien 1, 1.3 ja 1.4 jäähdytyksen aikaiset tuntuvat energiat.

Taulukko 8 Mallien 1, 1.3 ja 1.4 jäähdytyksen aikaiset tuntuvat energiat.

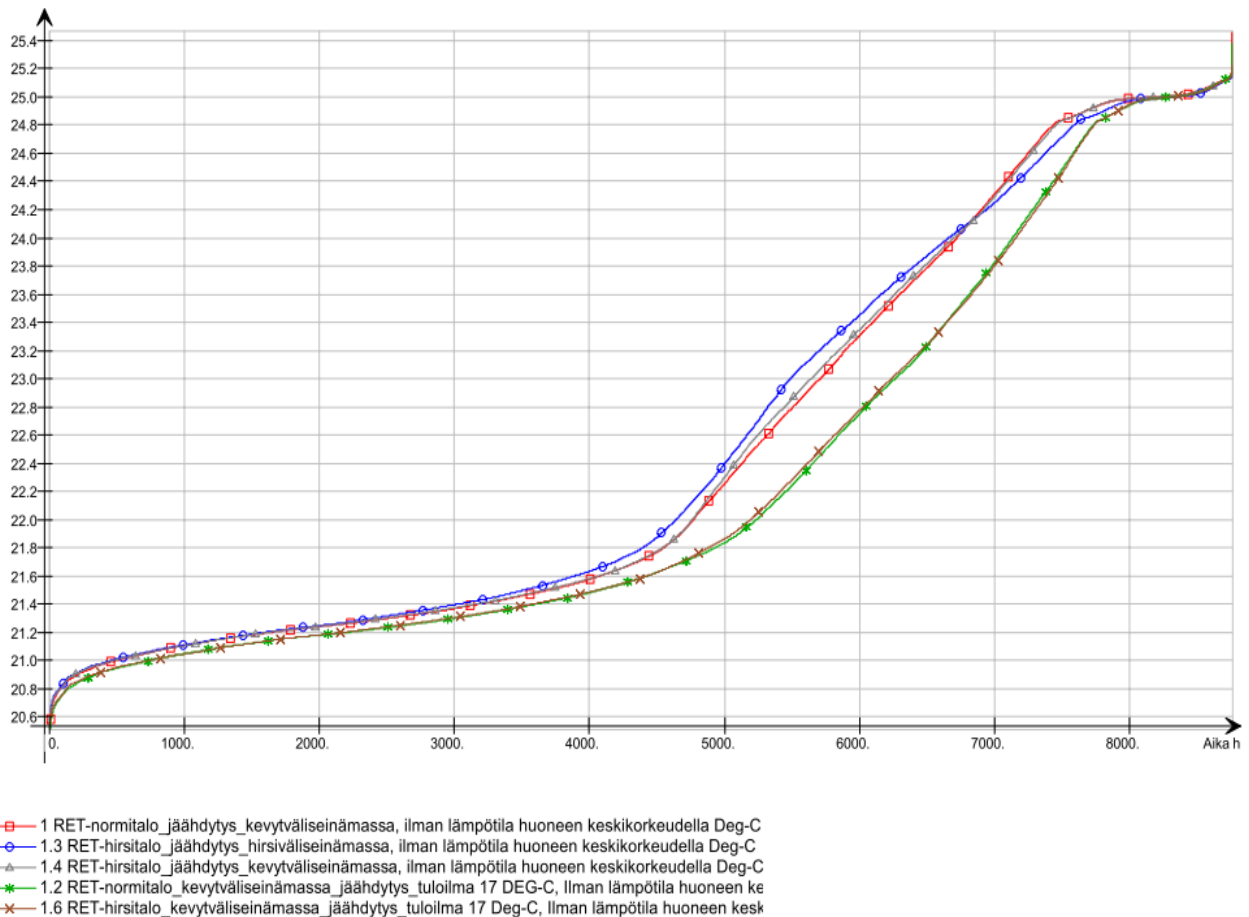
Jäähdytyksen aikana

kWh

Tapaus	Vaippa ja Kylmäsillat	Sisäseinät ja massat	Ulkoikkunat ja Auringon säteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & Aukot	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Paikalliset lämmityslaitteet	Paikalliset jäähdytyslaitteet	Jakeluhäviöt
1 RET-norm	-2805.6	-261.5	1143.6	-470.0	-314.4	414.2	3327.8	1081.9	0.0	-2260.8	77.1
1.3 RET-hi	-2173.6	-627.5	1293.3	-475.3	-285.0	419.2	2673.1	868.9	0.0	-1839.2	79.2
1.4 RET-hi	-2938.9	-257.8	1260.0	-475.3	-314.2	403.6	3291.7	1070.0	0.0	-2183.9	78.2

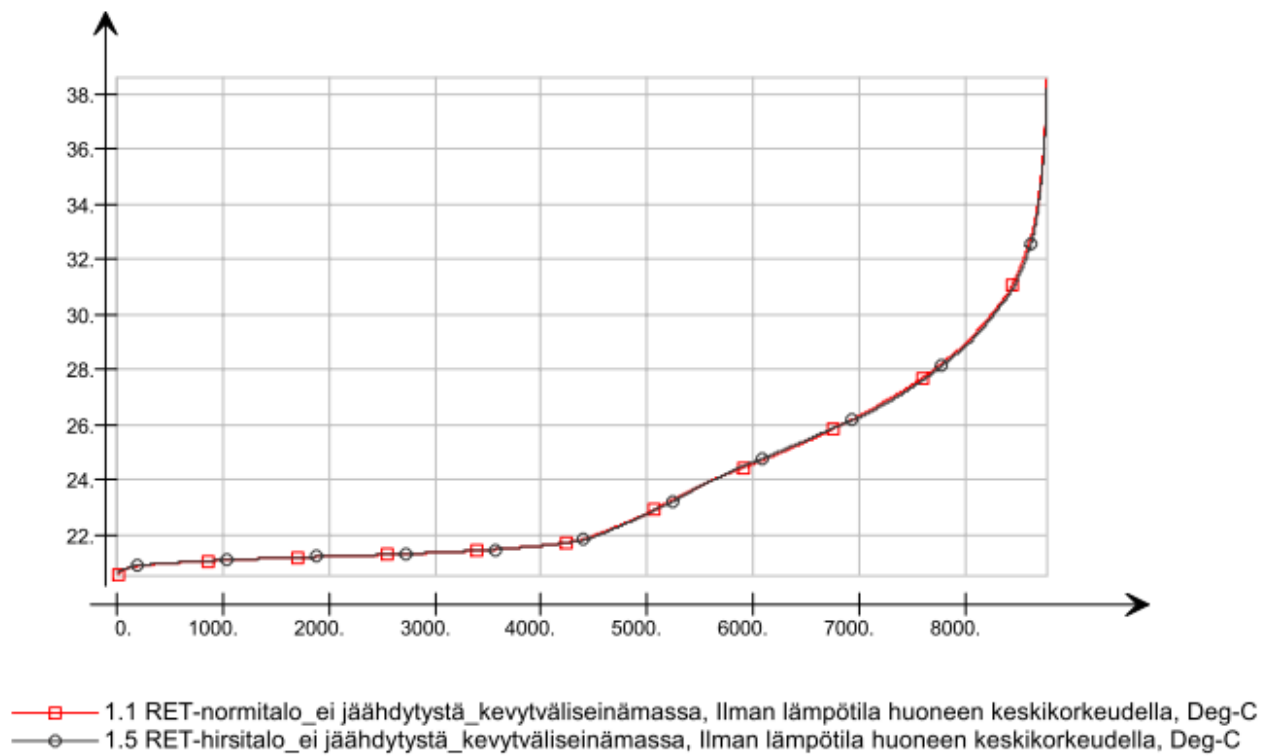
Kuvan Kuva 6 ja taulukon Taulukko 8 perusteella nähdään hirren massan jäähdytysenergiankulutukseen. Tulokset vastaavat kuvan Kuva 5 ja taulukon Taulukko 7 perusteella tehtyjä havaintoja ja vaikutukset näkyvät jäähdytysenergiankulutuksessa. Hirsiväliseinämamassat pienentävät lämmityksen aikaista lämmön tarvetta tässä noin 360 kWh vuodessa. Muiden mallien vastaavat vertailut löytyvät liitteistä 2,4, ja 4. Tulokset ovat samansuuntaisia.

Massalla on vaikutusta myös rakennuksen sisälämpötiloihin. Kuvassa Kuva 7 on esitetty pysyvyyskäyrät versioiden 1, 1.3 ja 1.4 keskimääräisille sisälämpötiloille.



Kuva 7 Versioiden 1, 1.2, 1.3, 1.4 ja 1.6 keskimääräiset sisälämpötilat huoneen keskikorkeudella.

Kuvasta Kuva 7 huomataan, että hirsiseinän massa vaikuttaa jonkin verran huoneiden lämpötiloihin. Pelkät hirsiseinät eivät vaikuta merkittävästi, mutta hirsiväliseinämässä on jo suurempi vaikutus. Tämä johtuu hirren massasta, jonka takia rakennus viilenee ja lämpenee hitaammin, kuin tyyppitalo. Tapauksissa 1.2 ja 1.6 ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvona on käytetty 17 °C 21 °C:n sijaan. Tämä vaikuttaa lämpötiloihin. Näiden kahden version sisälämpötilojen välillä on pieni hirsiseinärakenteen massan vaikutuksesta aiheutuva ero. Kuvasta Kuva 7 huomataan, että sisälämpötilojen erot hirsirakennuksen ja tyyppirakennuksen välillä ovat merkittäviä ainoastaan silloin, kun rakennuksen sisällä on myös hirsiseinämää kevyen väliseinämässä sijaan. Kuvassa 8 on esitetty pysyvyysskäyrät versioiden 1.1 ja 1.5 keskimääräisille sisälämpötiloille. Nämä ovat tyyppitalo ja kevyellä väliseinämässä varustettu hirsitalo, joista on poistettu jäähdytys.



Kuva 8 Versioiden 1.1 ja 1.5 keskimääräiset sisälämpötilat huoneen keskikorkeudella.

Kuvasta Kuva 8 nähdään, että ilman jäähdytystä rakennuksen sisälämpötilat nousevat erittäin korkeiksi. Versioiden tulosten välillä ei ole suuria eroja. Taulukossa Taulukko 9 on esitetty mallin 2 ja sen eri versioiden simuloinnin tuloksia.

Taulukko 9 Mallin 2 eri versioiden energiankulutukset lattiapinta-alaa kohti ja absoluuttisesti.

Version numero ja nimi	Sähköpatterit kWh/m ² (kWh)	IV:n lämmitys kWh/m ² (kWh)	Jäähdytys kWh/m ² (kWh)	HVAC sähkö kWh/m ² (kWh)	Valaistussähkö kWh/m ² (kWh)	Laitesähkö kWh/m ² (kWh)	LKV kWh/m ² (kWh)	Kaikki yhteensä kWh/m ² (kWh)
2 RET-normitalo_vyöhykkeet	48,8 (6638)	17,8 (2423)	5,8 (789)	0 (4)	8,2 (1110)	30,2 (4106)	35,6 (4841)	146,3 (19911)
2.1 RET-normitalo_vyöhykkeet ei jäähdytystä	47,9 (6525)	17,5 (2382)	-	0 (4)	8,1 (1007)	30,0 (4087)	35,6 (4841)	139,2 (18948)
2.2 RET-normitalo_vyöhykkeet_tuloilma 17 °C	57,6 (7845)	6,4 (876)	4,8 (648)	0 (2)	8,2 (1110)	30,2 (4106)	35,6 (4841)	142,7 (19428)
2.3 RET- hirsitalo270_vyöhykkeet_hirsiväliseinät	47,2 (6426)	17,9 (2430)	5,1 (692)	0 (4)	8,1 (1108)	30,1 (4102)	35,6 (4841)	144,0 (19603)
2.4 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät	48,1 (6540)	17,8 (2425)	5,5 (747)	0 (4)	8,2 (1110)	30,2 (4106)	35,6 (4841)	145,3 (19773)
2.5 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät_ei jäähdytystä	47,5 (6458)	17,6 (2389)	-	0 (4)	8,1 (1107)	30,1 (4092)	35,6 (4841)	138,8 (18891)
2.6 RET-hirsitalo270_vyöhykkeet_kevyet väliseinät_tuloilma 17 °C	56,8 (7729)	6,4 (877)	4,4 (603)	0 (2)	8,2 (1110)	30,2 (4107)	35,6 (4841)	141,6 (19269)

Taulukosta huomataan, että suuremman massan omaava, kevyillä väliseinillä varustettu hirsitalo pienentää hieman sekä jäähdytyksen että lämmityksen kulutusta kuten mallissa 1. Lämmitysenergia pienenee 96 kWh/1,05 %, jäähdytysenergia 42 kWh/5,3 % ja kokonaisostoenergia 138 kWh/0,7 %. Tässäkin hirsiväliseinillä varustetussa mallissa erot muodostuvat suuremmiksi, koska hirsimassan osuus on suurempi. Lämmitysenergia pienenee 205 kWh/2,3 %, jäähdytysenergia 97 kWh/12,3 % ja kokonaisostoenergia 308 kWh/1,5 %. Taulukossa Taulukko 10 on esitetty kaksikerroksisen mallin 3 ja sen eri versioiden simuloinnin tuloksia.

Taulukko 10 Mallin 3 sen eri versioiden energiankulutukset lattiapinta-alaa kohti ja absoluuttisesti.

Version numero ja nimi	Sähköpatterit kWh/m ² (kWh)	IV:n lämmitys kWh/m ² (kWh)	Jäähdytys kWh/m ² (kWh)	HVAC sähkö kWh/m ² (kWh)	Valaistussähkö kWh/m ² (kWh)	Laitesähkö kWh/m ² (kWh)	LKV kWh/m ² (kWh)	Kaikki yhteensä kWh/m ² (kWh)
3 2K-normitalo_suuntaus etelä	50,1 (10227)	17,8 (3630)	12,0 (2448)	0 (6)	11,4 (2315)	30,2 (6170)	25,2 (5139)	146,7 (29935)
3.1 2K-normitalo_suuntaus pohjoinen	56,4 (11508)	18,2 (3718)	8,3 (1697)	0 (6)	11,4 (2317)	30,3 (6175)	25,2 (5139)	149,8 (30560)
3.2 2K-hirsitalo270_suuntaus pohjoinen_kevytväliseinämassa	56,1 (11455)	18,2 (3717)	8,2 (1678)	0 (6)	11,4 (2317)	30,3 (6175)	25,2 (5139)	149,4 (30487)
3.3 2K-normitalo_suuntaus etelä_ei jäähdytystä	47,9 (9774)	16,9 (3451)	-	0 (5)	11,4 (2317)	30,3 (6117)	25,2 (5139)	131,7 (26863)
3.4 2K-normitalo_suuntaus etelä_tuloilma 17 °C	58,0 (11834)	6,7 (1357)	10,5 (2142)	0 (3)	11,4 (2316)	30,3 (2172)	25,2 (5139)	142,0 (28963)
3.5 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_hirsiväliseinämassa	48,1 (9820)	17,8 (3627)	11,3 (2302)	0 (6)	11,4 (2319)	30,3 (6181)	25,2 (5139)	144,1 (29394)
3.6 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa	49,9 (10172)	17,8 (3630)	11,9 (2423)	0 (6)	11,4 (2316)	30,3 (6172)	25,2 (5139)	146,4 (29858)
3.7 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa_ei jäähdytystä	47,8 (9756)	16,9 (3455)	-	0 (5)	11,4 (2317)	30,3 (6176)	25,2 (5139)	131,6 (26848)
3.8 2K-hirsitalo270_suuntaus etelä_kevytväliseinämassa_tuloilma 17 °C	57,7 (11778)	6,7 (1358)	10,4 (2112)	0 (3)	11,4 (2315)	30,3 (6171)	25,2 (5139)	141,5 (28876)

Mallin 3 ja sen eri versioiden tulokset mukailevat malleista 1 ja 2 saatuja tuloksia. Massan vaikutus ei ole kovin suuri, mutta se on kuitenkin olemassa ja vaikutus on positiivinen energiatehokkuuden näkökulmasta katsottuna. Suuremman massan omaava, kevyillä väliseinillä varustettu hirsitalo pienentää hieman sekä jäähdytyksen että lämmityksen kulutusta kuten mallissa 1. Lämmitysenergia pienenee 55 kWh/0,4 %, jäähdytysenergia 25 kWh/1 % ja kokonaisostoenergia 95 kWh/0,3 %. Tässäkin hirsiväliseinillä varustetussa mallissa erot muodostuvat suuremmiksi, koska hirsimassan osuus on suurempi. Lämmitysenergia pienenee 410 kWh/3,0 %, jäähdytysenergia 146 kWh/6,0 % ja kokonaisostoenergia 559 kWh/1,9 %. Lisää kuvia ja simuloinnin tuloksia malleista 1,2 ja 3 versioineen löytyy liitteistä 2, 3 ja 4.

Herkkyystarkasteluja

Herkkyystarkasteluja tehtiin TASE-ohjelman avulla.

Tarkasteltava pientalo ja laskentatapaukset

Lattia-ala 162 m²

Helsingin säätiedot

Kevyt lattia

Katto- ja seinärakenteiden massaa muutettu, U-arvot aina samat. Katon massalla kuvattu sisäseinien massaa.

Katossa hirren paksuus 10 cm ja seinässä 28 cm

Lämmön talteenoton hyötysuhde 75 %

Tarkasteluja tehty sekä perusilmanvaihdolla että jäähdytyksellä/tuuletuksella

Ikkunapinta-ala joko 12 % tai 17 % lattia-alasta. Edellisessä tapauksessa ikkunat pääosin etelään ja pohjoiseen ja jälkimmäisessä tapauksessa ikkunat pääosin etelään.

Talo hieman nykyistä määräystasoa parempi (keskimääräinen U-arvo 0,21 W/Km²) ilman ulko-ovien vaikutusta.

Tilojen lämmitysenergia on pienillä ikkunoilla noin 53 kWh/m² ja isoilla ikkunoilla noin 46 kWh/m². Hyvin eristetyillä (U=0,64 W/Km²) isoilla ikkunoilla lämmitysenergian kulutus on siis noin 15 % pienempi kuin pienillä ikkunoilla. Ero syntyy ikkunoista sisälle tulevasta auringon säteilystä.

Perusilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h ja lisäksi vuoto 0,1 1/h. Kesällä ilmanvaihtuvuus voi olla tarvittaessa kaksinkertainen.

Lämmityksen asetusarvolämpötila on 21 °C ja jäähdytyksen 25 °C.

Sisäinen lämpöteho on keskimäärin 800 W.

Alla olevissa tarkempia lähtötietoja:

Taulukko 11 Rakenteiden U-arvot ja pinta-alat, kun ikkunakoko on pieni.

Pinta	U	A	UA	Säteilyn läpäisy
	W/Km ²	m ²	W/K	
Lattia	0,149	161,8	24,05	
Katto	0,083	161,8	13,46	
Seinä	0,395	117,8	46,49	
Ikkuna	0,642	18,7	12,00	0,52
Keskiarvo/				
yhteensä	0,209	460,1	96,00	

Taulukko 12 Pienten ikkunoiden suuntaus

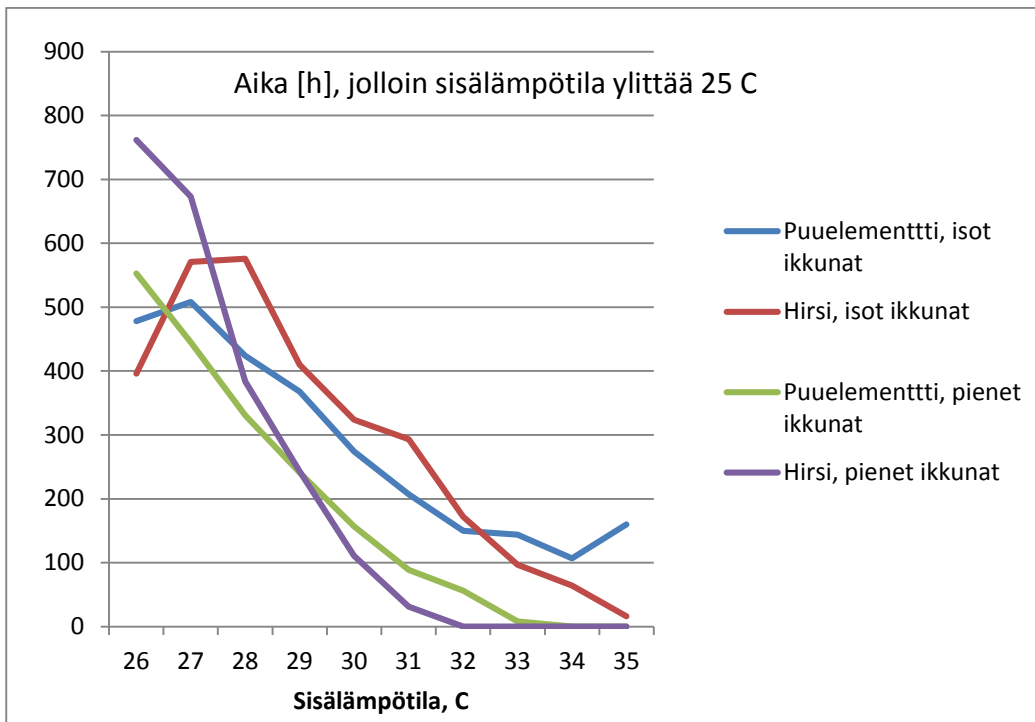
Nro	Suunta	A	Osuus	Aikk/Alat
		m ²		
12	S	8,4	0,45	0,116
13	W	0,72	0,04	
14	W	0,96	0,05	
15	N	8,4	0,45	
16	E	0,24	0,01	
Kaikki		18,7	1,00	

Taulukko 13 Suurten ikkunoiden suuntaus

Nro	Suunta	A m2	Osuus	Aikk/Alat
12	S	20,0	0,78	0,158
13	W	0,72	0,03	
14	W	0,96	0,04	
15	N	3,6	0,14	
16	E	0,24	0,01	
Kaikki		25,5	1,00	

Lämpötilat

Hirren massa alentaa kesäajan maksimilämpötiloja ikkunakoosta riippuen 2 – 3 °C (Kuva 9), kun ei käytetä jäähdytystä. Kesäaikana on kuitenkin mahdollisuus suurentaa ilmanvaihto kaksinkertaiseksi.



Kuva 9 Aika vuodessa (h), jolloin sisälämpötila ylittää 25 °C.

Lämmitysenergia

Hirren massan vaikutus lämmitysenergiaan on noin 2 - 5 % riippuen ikkunakoosta ja siitä käytetäänkö jäähdytystä. Vaikutus kasvaa, kun ikkunakoko kasvaa ja käytetään jäähdytystä. Absoluuttisesti vaikutus on 1 – 2 kWh/m².

Jäähdytysenergiassa, jos sitä käytetään, massan suhteellinen vaikutus on erittäin suuri, 30 – 50 %. Absoluuttisesti tämä on noin 3 kWh/m².

Massan vaikutus koko energiankulutukseen, kun käytetään jäähdytystä ja isoja ikkunoita, on suurimmillaan huomattava eli noin 6 kWh/m².

Taulukossa Taulukko 14 on yksityiskohtaisia tietoja.

Taulukko 14 Laskentatapaukset ja niiden energiankulutukset.

Tapaus								
Seinä	Katto	Lattia	Ikkuna- pinta m ²	Jäähdytys	Aurinko kWh/m ²	Lämmitys kWh/m ²	Kon. jäähdytys kWh/m ²	Energia kWh/m ²
Kevyt	Kevyt	Kevyt	18,7	Ei	27,5	53,8	0,1	53,9
Kevyt	Kevyt	Kevyt	18,7	On	27,5	53,9	5,6	59,5
Hirsi	Hirsi	Kevyt	18,7	Ei	27,5	53,0	0,1	53,1
Hirsi	Hirsi	Kevyt	18,7	On	27,5	53,0	3,8	56,8
Hirsi	Hirsi	Kevyt	25,5	Ei	48,2	45,8	0,1	45,9
Hirsi	Hirsi	Kevyt	25,5	On	48,2	46,0	9,5	55,5
Kevyt	Kevyt	Kevyt	25,5	Ei	48,2	47,5	0,1	47,6
Kevyt	Kevyt	Kevyt	25,5	On	48,2	48,5	12,8	61,3
Kevyt ¹⁾	Kevyt	Kevyt	18,7	On	27,5	56,3	3,7	60,0

1) Auringon säteilyn absorptiokerroin ulkoseinille 0, muutoin 0,80.

Tuuletusraon vaikutus

Kevyen ulkoseinän tuuletusrako huonontaa auringon säteilyn hyödyntämistä ulkoseinissä. Jos oletetaan, että hirren absorptiokerroin auringon säteilylle on 0,8 ja toisaalta tuuletetussa rakenteessa absorboituva säteily menee kokonaisuudessa tuuletusilman mukana ulos, auringon säteilyn absorptio pienentää lämmitysenergian kulutusta noin 4 % vuodessa talossa, jossa on pienet ikkunat. Toisaalta samanaikaisesti kasvaa tietysti jäähdytystarve, jos jäähdytystä käytetään.

Jos tarkastellaan kokonaisenergiaa (lämmitys+jäähdytys) auringon säteilyn absorptio pienentää energiankulutusta noin 1 %. Tämä on pieni lisäetu, joka tulee massiivisuusvaikutuksen lisäksi.

Ulkoseinien väri (absorptiokerroin)

Ulkoseinien absorptiokertoimen pienentäminen (värin vaalentaminen) arvosta 0,8 arvoon 0,2 lisää lämmitysenergian kulutusta noin 3 % (1,4 kWh/m²), mutta pienentää samalla jäähdytysenergian kulutusta 12 % (1,1 kWh/m²). Kokonaisuudessa tumma väri on hieman parempi.

Sisäseinien hirsi

Sisäseinien hirsi suhteessa kevyihin seiniin pienentää lämmitysenergiaa noin 2 % (1,1 kWh/m²) ja jäähdytysenergiaa 13 % (1,2 kWh/m²). Kokonaisvaikutus on noin 4 %.

Ulkoseinän hirren paksuus (270 / 205 mm)

Jos lämpöhäviöt tasataan samoiksi ikkunoiden ja/tai yläpohjan avulla hirren paksuuden lisäys arvosta 205 mm arvoon 270 mm ei juuri vaikuta tuloksiin.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Hirren massa pienentää jäähdytys- ja lämmitysenergiankulutusta. Vaikutus on suurimmillaan, kun hirsimassaa on sekä ulko- että sisäseinärakenteissa. IDA ICE –energiasimulointiohjelmalla rakennetun yksivöhykkeisen yksikerroksisen RET-normitalon tapauksessa, sekä hirsikuloseinillä että hirsisisäseinämassalla varustetun version ostettu lämmitysenergia oli 355 kWh/3,3 % pienempi kuin vastaavan perusmallin ja jäähdytysenergia vastaavasti 141 kWh/18,7 % pienempi. Kokonaisostoenergiankulutus oli vuodessa noin 499 kWh (3,4 kWh/m², 2,2 %) pienempi kuin vastaavassa perusmallissa. Hirsimassan vaikutuksesta myös vuotuiset sisälämpötilat olivat hieman pienempiä. Vastaavien tarkasteluiden tulokset eivät olleet yhtä suuret, kun verrattiin keskenään perusmallia, sekä hirsitaloa, joka oli varustettu kevyellä väliseinämassalla.

TASE-ohjelmalla tehdyt herkkyystarkastelut osoittivat myös hirren massan vaikutuksen energiankulutukseen ja sisälämpötiloihin. Kun tarkasteltiin tapausta, jossa oli sekä hirsikuloseinät, että hirsiväliseinämassaa, hirren massan vaikutukseksi lämmitysenergiaan saatiin noin 2 - 5 % riippuen ikkunakoosta ja siitä käytetäänkö jäähdytystä. Vaikutus kasvoi, kun ikkunakokoa kasvatettiin ja käytettiin jäähdytystä. Absoluuttisesti vaikutus oli 1 – 2 kWh/m². Jäähdytysenergiassa, jos sitä käytetään, massan suhteellinen vaikutus oli TASE-tarkastelussa erittäin suuri, 30 – 50 %. Absoluuttisesti tämä on noin 3 kWh/m². Massan vaikutus koko energiankulutukseen, kun käytettiin jäähdytystä ja isoja ikkunoita, oli suurimmillaan huomattava eli noin 6 kWh/m². Samassa tarkastelussa hirren massa havaittiin alentavan kesäajan maksimilämpötiloja 2 – 3 °C, kun ei käytetty jäähdytystä.

TASE ohjelmalla tehtiin myös tarkastelut liittyen tuuletusraon vaikutukseen ja ulkoseinien väriin liittyen. Tarkasteltaessa kokonaisenergiaa (lämmitys+jäähdytys) auringon säteilyn absorption havaittiin pienentävän energiankulutusta noin 1 %. Tämä pieni lisäetu tulee, kun tuuletusraon vaikutus poistuu. Tämän tarkastelun perusteella myös tumma ulkoseinän väri oli kokonaisuudessaan vaaleaa seinänväriä hieman parempi energiankulutuksen kannalta.