

ENERGIATEHOKKUUS HIRSIKEHIKKOJEN UUSIOKÄYTÖSSÄ

17.5.2023

Esipuhe

Tässä julkaisussa tarkastellaan olemassa olevien hirsirunkojen käyttömahdollisuuksia uudisrakentamisessa energiatehokkuuden ja rakennuksen lämpöhäviöiden sekä laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) näkökulmasta.

Julkaisun sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden tasoisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista. Julkaisun tarkoituksena on havainnollistaa energiatehokkuustarkasteluja.

Julkaisun on laatinut ympäristöministeriön toimeksiannosta TkL Mika Vuolle Equa Simulation Finland Oy:stä. Työtä on ympäristöministeriön puolesta valvonut ja ohjannut rakennusneuvos Jyrki Kauppinen.

Johdanto

Vanhon hirsikehikoiden uusiokäytössä on haasteeksi muodostunut rakennuksen lämpöhäviöiden vaatimustenmukaisuuden määrittäminen. Lisähaasteen asettaa vanhojen hirsiseinien paksuus, joka on tyypillisesti vain 150 mm. Energiatehokkuusasetuksessa 1010/2017 massiivipuuseinäksi määritellään seinärakenne, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm. Näin ollen esimerkiksi 150 mm uusiokäyttöön otettava vanha hirsirunko ei täytä voimassa olevien määräysten massiivipuukurakenteen määritelmää. Tämän aikakauden rakennuksissa on myös ollut tyypillisesti painovoimainen ilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa, joka asettaa omat haasteensa kokonaisenergiämääräysten täyttämiseen.

Julkaisussa esitetään esimerkkejä vaihtoehtoista ja seinien U-arvojen parantamisesta sekä todelliseen rakennukseen tehtyjä esimerkkejä tasauslaskennasta. Seinän vertailuarvo lämpöhäviöiden tasauslaskennassa on normaalin seinärakenteen mukainen vertailuarvo. Tarkoituksena löytää keinoja olemassa olevien hirsikehikkojen sekä ikkunoiden uusiokäyttöön niin, että tasauslaskennan ja kokonaisenergiatarkastelun vaatimukset täytetään ja rakennusten energiatehokkuus toteutuu.

Esimerkkirakennuksen tiedot

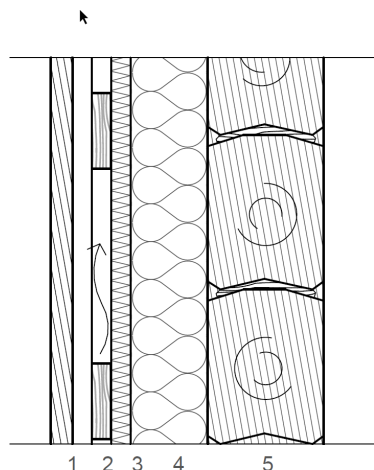
Esimerkkirakennuksen lämmitetty nettoala on 90,7 m². Tilojen huonekorkeus on 2,8 m. Muut mitat on esitetty alla olevassa taulukossa. *Esimerkkirakennuksessa makuuhuoneiden osalta valoaukon pinta-alat eivät täytä asuinhuoneille asetettuja nykyvaatimuksia.* Tämän pinta-alan kasvattamista ei ole tarkasteluissa otettu huomioon.

Esimerkkitarkastelut on tehty vain yhdelle rakennukselle, koska tasauslaskennassa rakennuksen koolla ei ole käytännön merkitystä ratkaisuihin, jotka täyttävät määräysten vaatimukset.

Taulukko 1. Esimerkkirakennuksen pinta-alat.

Ikkunat	13,0 m ²
Ovet	4,2 m ²
Ulkoseinä	100,3 m ²
Alapohja	90,7 m ²

Alkuperäisen ulkoseinän 150 mm hirsirakenteen U-arvo on 0,70 W/m²K. Lisäämällä olemassa olevaan hirsirunkoon 30 mm puuta, jotta rakenne täyttäisi massiivipuuseinän määritelmän, rakenteen U-arvoksi saadaan 0,60 W/m²K. Lisäeristämällä hirsirungon ulkopuolelta puhallettavalla kuitueristeellä saavutetaan U-arvo 0,23 W/m²K. Tämän rakenteen vertailuarvo tasauslaskennassa on 0,17 W/m²K, koska rakenne ei täytä massiivipuuseinän kriteereitä.



US1, Ulkoseinä, 375 mm

U-arvo 0,23 W/m²K

- 1 julkisivuverhous, lauta 25 mm + rakolista
- 2 ristiin koolaus 25 + 25 mm, lauta 25*98 mm
- 3 huokoinen puukuitulevy (tuulensuoja) 25 mm
- 4 pystykoolaus ja selluloosakuitueriste 100 mm
- 5 hirsi, leveys 150 mm

Kuva 1. Hirsirungon ulkopuolinen lisäeristys.

Tekemällä ulkoseinästä eristetty massiivipuuseinä lisäämällä hirsirunkoon myös 30 mm puuta U-arvoksi saadaan 0,22 W/m²K. Tämän rakenteen vertailuarvo tasauslaskennassa on 0,40 W/m²K. Seinän vertailuarvo lämpöhäviöiden tasauslaskennassa on normaalin seinärakenteen mukainen vertailuarvo. Tässä oletetaan, että sisäpuolinen osa hirsirungosta halutaan jättää näkyviin. Eri seinäratkaisuvaihtoehdot on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 2. Seinäratkaisuvaihtoehdot.

Seinäratkaisu	U-arvot [W/m ² K]	U-arvon vertailuarvo [W/m ² K]
Alkuperäinen seinärakenne	0,7	0,17
Alkuperäinen seinärakenne + 30 mm puuta	0,60	0,40
Alkuperäinen seinärakenne + 100 mm selluloosakuitueriste	0,23	0,17
Alkuperäinen seinärakenne + 30 mm puuta + 100 mm selluloosakuitueriste	0,22	0,40

Alkuperäisen rakennuksen kunnostettavia ikkunoiden U-arvoksi on arvioitu 2,8 W/m²K. Mikäli alkuperäisiin ikkunoihin lisätään vaikkapa väliin umpiolasielementti, lasiosan (1 + 2K-selekt + 1) U-arvoksi saadaan 1,0 W/m²K. Kun umpiosan U-arvo on 2,0 W/m²K ja kun Ikkunoiden valoaukon osuus on 80 %, niin koko ikkunan U-arvoksi saadaan 1,2 W/m²K (= 0,8 x 1,0 W/m²K + 0,2 x 2,0 W/m²K) alkuperäisen 2,8 W/m²K asemesta.

Tasauslaskennan tarkasteluvaihtoehdot

Alla olevassa listassa on esitetty selvityksessä tarkastellut vaihtoehdot.

Ei muutoksia ulkoseiniin:

1. US sellaisenaan + kunnostetut ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä, muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
2. US sellaisenaan + uudet ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä, muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla

Ulkoseinien lisäeristäminen:

3. US lisäeristetään ja kunnostetut ikkunat, kompensoidaan muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
4. US lisäeristetään ja uudet ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä, muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla

Ulkoseinien muuttaminen massiivipuuseiniksi:

5. US muutetaan massiivipuuseinäksi ja kunnostetut ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä, muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
6. US muutetaan massiivipuuseinäksi ja uudet ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
7. US muutetaan massiivipuuseinäksi ilman lisäeristeitä ja uudet ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla

Poikkeamisvaihtoehdot:

8. US sellaisenaan, mutta tulkitaan massiivipuu seinäksi ja uudet ikkunat, kompensoidaan ilmanpitävyydellä, muiden rakennusosien U-arvoilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
9. Alkuperäinen 150 mm hirsiseinä jätetään tasauslaskennan ulkopuolelle sekä johtumisen että ilmanpitävyyden osalta

Ratkaisuvaihtoehto 1, alkuperäinen seinä ja kunnostetut ikkunat

Alkuperäisen seinän ja kunnostettujen ikkunoiden säilyttäminen ei ole mahdollista tasauslaskennassa kompensoimalla muilla rakenteilla, ilmapitävyydellä ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla.

Rustiedot		Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä		100	100	0,17	0,70	16,9	70,2
Massiivipuuseinä ¹⁾				0,40		-	-
Yläpohja		91	91	0,09	0,07	8,2	6,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)				0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)				0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)			91	0,16	0,16	14,5	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa				0,16		-	-
Ikkunat		13,8	13,0	1,00	2,80	13,8	36,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾		4,2		1,00	0,80	4,2	3,4
Kattoikkunat				1,00		-	-
Kattovalokuvut				1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä		299	299			57,6	130,8
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä				0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾				0,60		-	-
Yläpohja				0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)				0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)				0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)				0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa				0,24		-	-
Ikkunat				1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾				1,40		-	-
Kattoikkunat				1,40		-	-
Kattovalokuvut				1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä		-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT		Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
Vuotoilma		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat		2,0	0,6	0,0047	0,0014	5,7	1,7
Puolilämpimät tilat		2,0				-	-
ILMANVAIHTO		Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiytösuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
Hallittu ilmanvaihto		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat			0,036	55	75	19,6	10,9
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Puolilämpimät tilat				55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						83	143
Puolilämpimien tilojen						-	-

Kuva 2. Ratkaisun 1 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 2, alkuperäinen seinä ja uudet ikkunat

Alkuperäisen seinän säilyttäminen ei ole mahdollista tasauslaskennassa kompensoimalla muilla rakenteilla, uusilla ikkunoilla, ilmapitävyydellä ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä	100	100	0,17	0,70	16,9
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	0,65	13,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			57,6
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	0,6	0,0047	0,0014	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	75	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					83
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 3. Ratkaisun 2 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 3, lisäeristetty seinä ja kunnostetut ikkunat

Alkuperäisten ikkunoiden säilyttäminen on mahdollista tasauslaskennassa kompensoimalla muilla rakenteilla ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla, kun ikkunoiden U-arvoa parannetaan kunnostuksen yhteydessä arvoon 1,2 W/m²K.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä	100	100	0,17	0,23	16,9
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)	91		0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	1,20	13,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			57,6
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0047	0,0047	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	70	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO vaatimusta			0		-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO vaatimusta			0		-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					83
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 4. Ratkaisun 3 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 4, lisäeristetty seinä ja uudet ikkunat

Lisäeristetyllä seinällä ja uusilla ikkunoilla tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä kohtuullisella lämmöntalteenotolla ja vertailuarvon mukaisella ilmavuotoluvulla.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä	100	100	0,17	0,23	16,9
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	1,00	13,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			57,6
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0047	0,0047	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	65	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					83
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 5. Ratkaisun 4 tasauslaskenta.

Ratkaisun 4 rakennevaihtoehtoilla tasauslaskennan raja-arvo alittuu myös painovoimaisella ilmanvaihdolla, kun ilmanvuotoluku on 1,0 m³/hm².

Perustiedot					Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	100	100	0,17	0,23	16,9	23,1
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2	6,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	1,00	13,8	13,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2	3,4
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			57,6	60,3
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	1,0	0,0047	0,0024	5,7	2,8
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55		-	-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,036		0	43,2	43,2
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					106	106
Puolilämpimien tilojen					-	-

Kuva 6. Ratkaisun 4 tasauslaskenta painovoimaisella ilmanvaihdolla.

Ratkaisuvaihtoehto 5, lisäeristetty massiivipuuseinä ja kunnostetut ikkunat

Lisäeristetyllä massiivipuuseinällä ja kunnostetuilla ikkunoilla tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä kohtuullisella lämmöntalteenotolla ja vertailuarvon mukaisella ilmavuotoluvulla.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä			0,17		-
Massiivipuuseinä ¹⁾	99	100	0,40	0,22	39,7
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	2,80	13,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	1,00	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			80,4
Puolilämpimät tilat tai määräaikaisten rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0047	0,0047	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiytysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	65	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					106
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 7. Ratkaisun 5 tasauslaskenta.

Ratkaisu 5 täyttää myös painovoimaisella ilmanvaihdolla tasauslaskennan vaatimukset ilmanvuotoluvulla 1,0 m³/hm² ja ulko-ovien U-arvoa parantamalla.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä			0,17		-
Massiivipuuseinä ¹⁾	99	100	0,40	0,22	39,7
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	2,80	13,8
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			80,4
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	1,0	0,0047	0,0024	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihiyötysuhde, % [η _{la}]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _{la})]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat			55		-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,036		0	43,2
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					129
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 8. Ratkaisun 5 tasauslaskenta painovoimaisella ilmanvaihdolla.

Ratkaisuvaihtoehto 6, lisäeristetty massiivipuuseinä ja uudet ikkunat

Lisäeristetyllä massiivipuuseinällä tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä vertailuarvojen mukaisilla ratkaisulla. Luonnollisesti myös painovoimainen ilmanvaihto täyttää vaatimukset näillä rakenneratkaisuilla.

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]	
RAKENNUSOSAT					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾	99	100	0,40	0,22	39,7	22,0
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2	6,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	1,00	13,8	13,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	1,00	4,2	4,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			80,4	60,1
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
<i>Vuotoilma</i>	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0047	0,0047	5,7	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
<i>Hallittu ilmanvaihto</i>	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat		0,036	55	55	19,6	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					106	85
Puolilämpimien tilojen					-	-

Kuva 9. Ratkaisun 6 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 7, eristämätön massiivipuuseinä ja uudet ikkunat

Olemassa oleva 150 mm hirsiseinään lisätään puuta 30 mm Massiivipuuseinällä ilman lisäeristystä tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä muiden ratkaisujen parantamisella.

Perustiedot					Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾	99	100	0,40	0,60	39,7	60,0
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2	6,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	0,70	13,8	9,1
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,70	4,2	2,9
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			80,4	92,9
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	0,5	0,0047	0,0012	5,7	1,4
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat		0,036	55	75	19,6	10,9
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					106	105
Puolilämpimien tilojen					-	-

Kuva 10. Ratkaisun 7 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 8, alkuperäinen seinä ja uudet ikkunat

Ratkaisuvaihtoehto, jossa alkuperäinen 150 mm seinä tulkitaan massiivipuuseinäksi. Tälläkään vaihtoehdolla tasauslaskennan vaatimuksia ei voida alkuperäisellä seinärakenteella käytännössä täyttää.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä			0,17		-
Massiivipuuseinä ¹⁾	99	100	0,40	0,70	39,7
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	0,65	13,8
Ulkko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			80,4
Puolilämpimät tilat tai määräaikaist rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulkko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, v}]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	0,6	0,0047	0,0014	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _{av}]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v, p} · (1-η _{av})]
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	75	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					106
Puolilämpimien tilojen					-

Kuva 11. Ratkaisun 8 tasauslaskenta.

Ratkaisuvaihtoehto 9, alkuperäinen seinä jätetään tasauslaskennan ulkopuolelle

Ratkaisuvaihtoehto, jossa alkuperäinen 150 mm seinä jätetään tasauslaskennan ulkopuolelle sekä johtumisen että ilmapitävyiden osalta. Tällöin voidaan käyttää alkuperäisiä ikkunoita, jotka on korjattu U-arvoon 1,2 W/m²K ja kun käytetään vertailuarvo parempaa lämmöntalteenottoa. Käyttämällä vertailuarvon mukaisia ikkunoita (U-arvo = 1,0 W/m²K) voidaan myös painovoimaisella ilmastavaihdolla täyttää tasauslaskennan määräysten mukaisuus.

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Ominaislämpöhäviö, W/K
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	[H _{joht} = A · U]
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä	99	100	0,17	0,17	16,9
Massiivipuseinä ¹⁾			0,40		-
Yläpohja	91	91	0,09	0,07	8,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)		91	0,16	0,16	14,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	13,8	13,0	1,00	1,20	13,8
Ulkko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	4,2		1,00	0,80	4,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	299	299			57,5
Puolilämpimät tilat tai määräaikaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulkko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
				Ominaislämpöhäviö, W/K	
				[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, v}]	
VAIPAN ILMAVUODOT					
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0047	0,0047	5,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-
				Ominaislämpöhäviö, W/K	
				[H _{iv} = 1200 · q _{v, p} · (1-η _a)]	
ILMANVAIHTO					
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat		0,036	55	60	19,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Puolilämpimät tilat			55		-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
				Ominaislämpöhäviö, W/K	
				[H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					
				Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö				83	80
Puolilämpimien tilojen				-	-

Kuva 12. Ratkaisun 9 tasauslaskenta.

Yhteenveto tasauslaskentavaihtoehdoista

Edellä esitetyistä esimerkkikohteen tasauslaskentavaihtoehdoista voidaan todeta, että

- 150 mm eli U-arvoltaan $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ hirsirunko ei täytä tasauslaskennan vaatimuksia muita rakenteita, ilmanpitävyyttä ja ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa parantamalla;
- lisäeristetyllä $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ulkoseinällä tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä ikkunoiden kunnostuksen yhteydessä parannettavilla U-arvoilla (U-arvo = $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) sekä erittäin hyvillä muilla ratkaisuilla;
- lisäeristetyllä $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ulkoseinällä tasauslaskennan vaatimukset ovat täytettävissä uusilla vertailuarvon mukaisilla ikkunoilla ja ilmanvuotoluvulla, kun lämmöntalteenottoa (65 %) ja muita rakenteita on parannettu (yläpohja $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ovet $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- ulkoseinän lisäeristäminen ja muuttaminen massiivipuuseinäksi (U-arvo $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$) mahdollistaa alkuperäisellä U-arvoilla varustettujen ikkunoiden käytön;
- muuttamalla ulkoseinän massiivipuuseinäksi (U-arvo $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) eli puuta 180 mm voidaan tasauslaskennan vaatimukset täyttää muita rakenteita (yläpohja $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$, ikkunat $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ovet $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$), ilmanvaihto (75 %) ja ilmanpitävyyttä parantamalla ($q_{50} = 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$);
- painovoimaisella ilmanvaihdolla tasauslaskennan vaatimukset voidaan täyttää, jos lisäeristetyssä seinän tapauksessa käytetään vertailuarvon mukaisia ikkunoita sekä kaikissa lisäeristetyn massiivipuuseinän ratkaisuissa;
- useissa hyväksyttävissä tapauksissa rakennuksen ilmanvuotoluvun arvo on oltava huomattavasti vertailuarvoa ($q_{50} = 2,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) parempi eli $0,5 - 1,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, joka tulee huomioida ratkaisun toteuttamiskelpoisuutta arvioitaessa.
- useissa hyväksyttävissä tapauksissa tarvitaan hyvä koneellisen ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (65 - 75 %) ja koneellinen tulopoistoilmanvaihto harvoin sopii "hirsitalokonseptiin".

Edellä mainittujen asioiden lisäksi tulee huomata tilojen lämmitystehontarpeen olevan niin korkea, että matalalämpötilajärjestelmät kuten lattialämmitysjärjestelmä voivat johtaa tilanteeseen, jossa tilojen lämmitystehotarve voi ylittää lattiarakenteelle ja -materiaaleille sopivat lämpötilarajat. Jos ratkaisun lämpöhäviön vertailuarvo on esimerkiksi 100 W/K , niin tilan lämmitystehontarve ilmastovyöhykkeellä I on yli 50 W/m^2 ja ilmastovyöhykkeellä IV yli 65 W/m^2 .

Tilojen suuret lämmitystehontarpeet vaikuttavat myös esimerkiksi lämpöpumppujen tehontarpeeseen lisäten näin investointikustannuksia. Kun lämmitysjärjestelmissä joudutaan korkeampiin lämpötilatasoihin, niin lämpöpumppujärjestelmissä saadaan huonompia lämpökertoimia kuin vertailuarvojen mukaisissa uudisrakennuksissa.

Kun U-arvot ovat huomattavasti vertailuarvoja isompia, on hyvä ottaa huomioon myös matalien pintalämpötilojen vaikutus lämpöaistimukseen.

Kompensointimahdollisuus kokonaisenergiälaskennalla

Tässä luvussa tarkistellaan mitä toimenpiteitä vaadittaisiin, jotta vaipan lämmöneristävyyden puutteet vertailuarvoihin nähden kompensoitaisiin energiassa, siten että tilojen lämmitysenergiatarpeen lisäys korvattaisiin esimerkiksi aurinkosähkön tuotannolla.

Vaihtoehdossa 1, jossa on alkuperäinen hirsirunko sellaisenaan ja alkuperäiset ikkunat, suunnitteluratkaisun vertailulämpöhäviö 143 W/K, kun vertailuratkaisu on 83 W/K. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeessa tämä tarkoittaa 8 952 kWh/a (16 253 kWh/a - 7 301 kWh/a) eroa. Tämä ero voidaan suhteuttaa esimerkiksi esimerkkirakennuksen lämpimän käyttöveden nettoenergiatarpeeseen, joka E-lukulaskelmien vakioiduilla käytöllä on 35 kWh/(m²,a) eli 3 185 kWh/a.

Vaihtoehdossa 2, jossa alkuperäinen hirsirunko sellaisenaan ja uudet ikkunat, suunnitteluratkaisun vertailulämpöhäviö 115 W/K, kun vertailuratkaisu on 83 W/K. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeessa tämä tarkoittaa 5 285 kWh/a (12 586 kWh/a - 7 301 kWh/a) eroa.

Optimaalisesti suunnattu ilman varjostuksia 1,6 m² aurinkopaneeli inverterin kanssa tuottaa noin 300 kWh/a. Näin ollen nettolämmitysenergiatarpeen kompensoimiseksi tulisi asentaa 30 kpl (eli 48 m²) vaihtoehdossa 1 ja 8 kpl (eli 29 m²) vaihtoehdossa 2 1edellä mainitun kokoisia aurinkopaneeleita.

Esimerkkirakennuksessa optimaalisella suuntauksella ilman tuottoa huonontavilla varjostuksia voidaan tuottaa lämpöenergiaa 8 m² aurinkokeräimillä noin 2 200 kWh/a. Näin ollen aurinkolämmöllä ei voida kattaa tilojen lämmitysenergiatarpeen vertailuarvojen ylittävästä osasta kuin 25 - 40 % osuus.

Ilma-ilmalämpöpumpun lämmöntuotoksi voidaan kokonaisenergiatarkastelussa laskea enintään 40 kWh/(m²,a) eli tässä esimerkkirakennuksessa 3 640 kWh/a. Lämpöpumpun SPF-luvun ollessa 2,8, niin ulkoilmasta otettava energiamäärä on 2 340 kWh/a.

Edellä esitetyissä vaihtoehdoissa aurinkosähkön tuotannolla voidaan kompensoida lämpöhäviö, mutta tarvitsee eristystasosta riippuen lähes 30 m² tai 50 m² aurinkopaneelia. Ja silti laskennassa tulisi huomioida E-lukulaskennan säännöistä poiketen koko sähkötuotanto. Normaalisti aurinkopaneelien sähköntuotannosta E-luvunlaskennassa otetaan huomioon vain rakennuksen sähkökäyttöä pienentävä osuus, ei verkkoon syötettävää osuutta.

Kokonaisenergiatarkastelu

Kokonaisenergiämääräyksen vaatimuksen voidaan täyttää useammalla erilaisella lämpöpumppuratkaisulla. Alla muutamia vaihtoehtoja. Suoralla sähkölämmityksellä kokonaisenergiämääräyksiä ei voida täyttää.

Esimerkkirakennus täyttää kokonaisenergiavaatimukset ratkaisuvaihtoehdolla 1 (eli alkuperäisillä seinä- ja ikkunarakenteilla), kun rakennus varustetaan erittäin hyvällä ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla, 8 m² aurinkokeräimellä, kahdella ilma-ilmalämpöpumpulla sekä tehokkaalla ilma-vesilämpöpumpulla, joka on yhdistetty sekä vesikiertoiseen lattialämmitykseen että ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteriin.

Esimerkkirakennus täyttää painovoimaisella ilmanvaihdolla kokonaisenergiatehokkuusmääräykset, kun rakennuksen ulkoseinät lisäeristetään U-arvoon 0,23 W/m²K ja ikkunat korjataan tasoon 1,2 W/m²K. Tällöin tehokkaan ilma-vesilämpöpumpun lisäksi ei tarvita aurinkokeräimiä ja ilma-ilmalämpöpumppuja.

Lämpöpumppuratkaisuissa varaava tulisija korvaa lämpöpumpulla tehokkaasti tuotettua lämpöä ja vaikka uusiutuvat polttoaineen energiamuodonkerroin on sähkön kerrointa pienempi, niin kokonaisenergiämäärä kasvaa. Näin ollen varaavalla tulisijalla ei voida E-lukua parantaa.

Ratkaisuvaihtoehdossa 9, jossa olemassa oleva hirsirunko jätetään poikkeamana tasauslaskennan ulkopuolelle, niin ero vertailulämpöhäviöissä on 74 W/K. Verrattuna vertailuarvojen mukaiseen energiankulutukseen ero ostosähkössä tehokkaallakin lämpöpumppuratkaisulla on 3000 – 5000 kWh, joka esimerkiksi 20 snt/kWh sähköenergianhinnalla merkitsee energiakustannuksissa 600 - 1000 Eur ja 10 snt /kWh 300-500 Eur lisäkustannusta per vuosi. Nämä luvut ovat suuntaa-antavia, koska kokonaisenergiälaskennassa on vaihtoehtoisia vaatimuksen täyttäviä ratkaisuja useita ja poikkeaman vaikutus laskennalliseen ostoenergiaan vaihtelee.

Johtopäätökset

Esimerkkikohteessa alkuperäinen 150 mm hirsirungon säilyttäminen ei ole tasauslaskennassa mahdollista, ei edes uusilla ikkunoilla ja muilla toimenpiteillä. Jos alkuperäiseen hirsirunkoon vaihdetaan erittäin energiatehokkaat Ikkunat, tilojen lämmitysenergiatarpeen vertailuarvojen ylittävän osuuden kompensoimiseksi tarvittaisiin lähes 30 m² aurinkopaneeleilta, jos niiden koko sähköntuotto lasketaan mukaan, eikä pelkästään rakennuksessa käytetty osuus.

Lisäeristämällä hirsirunko U-arvoon 0,23 W/m²K tai tekemällä eristetyn massiivipuunseinän tasauslaskennan vaatimukset voidaan täyttää myös painovoimaisella ilmanvaihdolla.

Vaikka 150 mm hirsiseinä katsottaisiin aikakautensa massiivipuuseinäksi, niin tasauslaskennan vaatimuksia ei voida täyttää.