

28.1 Rakennusaikainen kosteus

Siporex-massaan jää valmistuksessa kosteutta noin 30 painoprosenttia, joka esim. 400 kg/m^3 tiheysluokassa tilavuusprosentteina on n. 12 %. Työmaaoloissa kosteus saattaa edelleen jopa lisääntyä, joten rakennusaikaisen kosteuden poistuminen on tärkeä ja usein rakenteita eniten rasittava vaihe. Lisäkosteuden minimoimiseksi varastoitavat rakennusmateriaalit ja rakenteet kannatta työaikana suojata silloin, kun tämä kohtuullisin toimenpitein on järjestettävissä. Normaaleissa käyttöolosuhteissa kosteus tasoittuu ensimmäisten lämmityskausien aikana ns. tasapainokosteuteen, joka olosuhteista riippuen on yleensä 3-6 p-%. Tasapainokosteudessa rakenteen tilan määräävät siihen eri puolilta kohdistuvat kosteus- ja lämpövaikutukset.

28.2 Kosteuden liikkuminen siporexissa

Kosteus voi liikkua siporexissa joko vesihöyrynä tai kapillaarisesti. Liike on pääosin kapillaarista, kun kosteus ylittää 35-40 painoprosenttia. Tällä alueella kuivuminen on nopeaa veden kulkeutuessa suoraan rakenteen pintaan ja haihtuessa siitä. Kosteuden vähentyessä kapillaarinen liike vähitellen lakkaa ja vesi liikkuu materiaalissa pelkästään höyrymuodossa, kun kosteus on vähentynyt 15-20 painoprosenttiin. Kapillaarinen veden imeytyminen kuivaan materiaaliin tapahtuu likimain samalla nopeudella kuin kalkkihiikkakiveen, imeytymisnopeus on keskimäärin $4-7 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$.

Suurin osa siporexin kuivumisesta tapahtuu diffuusion avulla. Diffuusio tapahtuu aina vesihöyryn korkeamman osapaineen alueelta alhaisemman osapaineen suuntaan. Yleensä tämä on rakenteissa sama kuin lämpövirran suunta, mutta diffuusiota voi tapahtua myös kylmästä lämpimään esimerkiksi talvella, kun seinästä höyrystyy vettä kuivaan sisäilmaan päin. Siporexin vesihöyryn läpäisevyys on sen tiheydestä riippuen luokkaa $15-40 \times 10^{-12} \text{ kg/msPa}$.

28.3 Valmistuskosteus ja siporex-pinnat

Rakennusaikaisen kosteuden poistuminen ja myöhempi kosteuden poistumismahdollisuus on aina otettava huomioon siporex-rakenteita suunniteltaessa. Kosteus kulkeutuu parhaiten lämpimästä tilasta kohti kylmempää. Tästä syystä siporex-ulkopintojen paras ratkaisu on käyttää ulkopuolella riittävän hengittäviä pinnoitteita tai tuuletusrakoa. Myös sisätilojen rakenteissa on tarvittava kuivumismahdollisuus aina muistettava. Esimerkiksi yläpuolelta tiivis välipohja on alapinnastaan käsiteltävä riittävän harvalla pinnoitteella.

Mikäli kuivuminen hoidetaan tuuletusraon kautta, on riittävästä ilman virtauksesta huolehdittava esim. siten, että syntyy lämpökierto eri korkeuksilla olevien ilman

sisäänotto- ja poistoaukkojen avulla. Tämä on erityisen tärkeää katoissa, joissa tuuletusraon korkeus on alle 200 mm, sillä ensimmäisen lämmityskauden aikana poistuvan kosteuden määrä voi olla niin suuri, että se tuuletuksen toimiessa heikosti saattaisi tiivistyä tuuletusrakoon ja valua alapuolisiin rakenteisiin.

Samasta syystä ei tuuletetussa siporex-yläpohjassa saa mineraalivillaeristeen päällä käyttää muita kuin riittävän huokoisia tuulensuojalevyjä, esimerkiksi ohutta jäykkää mineraalivillalevyä.

28.4 Valmistuskosteus ja pinnoittaminen

Suurilla kosteuspitoisuuksilla ilmenevä kapillaarinen kuivuminen sekä myös kosteuden poistuminen höyrymuodossa tapahtuvat tehokkaimmin käsittelemättömän siporex-pinnan kautta.

Edellisestä johtuen siporex-rakenteiden on syytä antaa kuivua niin pitkään kuin mahdollista ennen niiden pinnoittamista. Ulkoseinän pinnoitus suositellaan tehtäväksi aikaisintaan silloin, kun siporex on kuivunut pintaosistaan (min. 50 mm) alle 15 p-%:n, jolloin kapillaarista virtausta ei enää katsota tapahtuvan.

Huokoisen pinnoitteen (esim. rappauksen) lävitse jatkuva kapillaarinen kuivumisvirtaus saattaisi tuoda mukanaan pinnoitteesta ja alustasta liuottamiaan suoloja, jotka kiteytyisivät rappauksen pintaan vaaleaksi "paraksi". (Voidaan poistaa pesemällä.)

Huomattavan kosteassa seinässä saattaisi kapillaarinen virtaus myös heikentää tiiviiden pinnoitetyyppien tarttuvuutta alustansa.

28.5 Rakenteiden kuivatus ja ilmanvaihto

Rakennusaikaisen kosteuden poistaminen muodostaa yleensä suurimman rasituksen tuuletuksen toiminnalle. Näin varsinkin silloin, kun rakennusajankin tuuletuksen käytetään pelkästään rakennuksen lopullista ilmanvaihtojärjestelmää. Yksi kuutiometri tuuletusilmaa sitoo itseensä vettä muutamia grammoja, yleensä sitä enemmän mitä lämpimämpää ilma on, joten tehokkaan kuivumisen aikaansaamiseksi ilman ja lämmön tarve on huomattavan suuri. Mikäli ilma ei vaihdu, vesihöyry kyllästää sen nopeasti ja tämän jälkeen höyry vain pyrkii diffuusioitumaan ulkoseiniin ja tiivistymään ikkunapintoihin.

Mikäli kosteutta sisäilmasta poistetaan koneellisesti ilmankuivaimilla, on edellisestä poiketen kuivattavat tilat pidettävä tiiviisti suljettuina.

Jos rakennuskohteen lämmittämiseen käytetään maakaasua tai nestekaasua, olisi palokaasut johdettava ulkoilmaan tai tuuletusta entisestään tehostettava, koska palamistulokset sisältävät vesihöyryä noin puolet poltettavan kaasun painosta.

28.6 Ilmavuodot

28.6.1 Harkkorakenteet

Yksinkertaisen rakenteen ansiosta ei huolellisesti tehdyssä harkkoseinässä yleensä pääse syntymään mainittavia ilmavuotoja. Huolellisuutta vaativia kohtia ovat liittymiset sokkeliin ja holveihin, samoin karmien tiivistykset. Kun paksussa harkkoseinässä käytetään rakosaumaliimausta, on yhteydet saumarakoon pyrittävä katkaisemaan ikkuna- ja oviaukkojen kohdalla. Harkkorakennus on niin tiivis, että ilmanvaihdon tuloilman saanti on järjestettävä erillisten venttiilien kautta.

28.6.2 Elementtiseinät

Elementtiseinissä ilmavuotoriski keskittyy lähinnä vaa-kaelementtiseinien puskusaumaan sekä seinän ja katon liitoksen alueelle. Jos pystyelementtiseinät nousevat ohi kattolinjan, saattaa elementtien välisen saumavalun sisäpuolelle jäävä kuivasaumaosuus muodostaa vuotolinjan, jos sitä ei erikseen tiivistetä. Tiiviyteen on aina kiinnitettävä huomiota, mutta nimenomaan korkeat rakennukset, kostea sisäilma ja esim. ylipaineiset tilat vaativat erityistä huolellisuutta. Sisältä ulospäin tapahtuvasta ilmavuodosta voi tiivistyä runsaastikin vetä ulkopinnan kylmiin rakenteisiin.

28.6.3 Siporex-katot

Siporex-kattojen rakenteessa on yksityiskohta, jonka tiivistystarpeeseen on syytä kiinnittää huomiota:

Ala-, väli- ja yläpohjassa käytettävien kattoelementtien pitkittäissauma, jonka saumaura elementtien yläreunassa on juotettu umpeen, ei estä saumauran alapuolista ilmavirtausta elementtien välisessä raossa. Tämä on erikseen tiivistettävä aina, kun syntyy ilmavuotomahdollisuus sisältä ulkopuolisiin kylmempiin tiloihin.

28.7 Pintakondensaatio

Normaaleissa lämpimissä ja kuivissa rakennuksissa ei käytettyjen rakennepaksuuksien ansiosta esiinny vesihöyryn tiivistymisvaaraa siporex-rakenteiden sisäpinalla.

Poikkeavan suuri sisäkosteus ja esim. kiinni ulkoseinässä olevat lämpöä eristävät kalusteet, hallirakennuksen päätypalkin ja seinän väliseen viileämpään rakoon kiertyvä ilma ym. seikat voivat aiheuttaa kondenssiriskiä siporexin kuten muidenkin vastaavien seinämateriaalien yhteydessä.

Kylmissä varastotiloissa saattaa varastoon tuodusta materiaalista purkautuva höyry tai esim. lastausovien kautta purkautuvan ilman sisältämä kosteus tiivistyä katto- ja seinäpintoihin. Tilapäisen kosteuden tiivistymisen ei yleensä ole haitallista, koska siporex-elementtien huokoinen pinta imee kosteuden. Tällöin vaara, että katosta tippuva vesi turmelisi varastoa, on vähäinen. Mikäli tiivistymissyklejä on runsaasti, voidaan harkita ruostumattomien terästen käyttöä elementeissä.

28.8 Siporex-massiiviseinien toimiva U-arvo

VTT on selvitystensä perusteella myöntänyt suosituimmalle siporex-ulkoseinälle, 375 mm paksulle tiheysluokkaa 400 olevalle harkkoseinälle, sertifikaatin Nro C260/03. Sertifikaatti esittää harkkojen ja niistä muuratun seinän tärkeimmät tekniset ominaisuudet. Seinän U-arvo on 0,28 W/m²K.

Tampereen Teknillisen Yliopiston vuodesta 1997 jatkuneessa massiiviseinäisten koetalojen lämpötutkimuksessa on viiden lämmityskauden perusteella samoin todettu 375 mm paksun harkkoseinän toimivan U-arvon olevan keskimäärin 0,28 W/m²K.

Rakentamismääräyskokoelman C4 -osan taulukon 1 mukaisilla arvoilla laskien saadaan vastavan seinän U-arvoksi 0,31 W/m²K. C4:n ilmoittamat arvot ovat kaikille vastaaville materiaaleille tarkoitettuja yleisarvoja, jotka eivät perustu materiaalin erilliseen tutkimiseen ja tuotevalvontaan.

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaan koetalon seinille laskettu lämmitystehon tarve on koetuloisten perusteella osoittautunut reilusti ylimitoitetuksi; ohjeiden mukainen tehontarve oli noin kaksinkertainen mitattuun kulutukseen verrattuna.

Kuten muutkin lämmöneristeet, siporex toimii sitä tehokkaammin, mitä kuivempaa materiaali on. Tämän vuoksi rakennusajan kosteuden poistamiseen ja esim. seinien oikein toimivaan pinnoitukseen kannattaa kiinnittää huomiota.

28.9 Siporex-massiivikaton lämpötekniikkaa

Lämpökapasiteetti

Siporex-massiivikaton jo pitkään tunnettu ja hyödynnetty ominaisuus on ollut sen kyky varastoida itseensä lämpöä. Täten se esim. hellepäivinä kevyistä kattotyypeistä poiketen kykenee tehokkaasti estämään auringon lämpösäteilyä nostamasta liiaksi alapuolisten työkentelytilojen lämpötilaa työpäivän aikana, ja luovuttaa siihen varastoituneen lämmön yöaikana hitaasti ympäristöönsä.

Myös lämmityskauden aikana paljas katto säätilasta riippuen voi varastoida yläpintaansa auringon lämpösäteilyä. Tällöin yläpinnan "lämpötyyny" vähentää tehokkaasti sisältä ulos suuntautuvaa lämpövirtaa. Vuosina 2001-2002 suoritetuissa 300 mm paksun massiivikaton mittauksissa todettiin siporexissa 20 mm huopakatteen alapuolella lämpötilan nousevan useasti 5-10, jopa 15 astetta mittauskohdan laskennollista arvoa korkeammaksi, jolloin lämpövirta katon läpi väheni 25-50 % ja parhaissa tapauksissa loppui kokonaan. Massiivisuuden ansiosta tämä vaikutus jatkuu myös auringonlaskun jälkeen, toisin kuin katoissa, joissa yläpuolisella eristeellä ei ole liiemmästi lämpökapasiteettia.

Lumi tuulettamattomilla katoilla

Tuulettujen kattojen toiminnasta poiketen massiiviselle siporex-katolle tai tuulettumattomalla lisäeristeellä varustetulle katolle kertyvä lumi toimii tehokkaana lisäeristeenä ja parantaa katon käytännön U-arvoa usein huomattavasti juuri kylmimpänä talvikautena. Kun katoilla on lunta, voidaan sen toimivaksi U-arvoksi arvioida esim. seuraavat lukemat:

Massiivikatto 300 mm, huopakate: U-arvo 0,35 W/m²K
– lunta 200 mm, yhdistelmän U-arvo 0,20-0,24 W/m²K
– lunta 400 mm, yhdistelmän U-arvo 0,14-0,18 W/m²K
Siporex- katto 250 mm + lisäeristys, U-arvo 0,16 W/m²K
– lunta 200 mm, yhdistelmän U-arvo 0,12-0,13 W/m²K
– lunta 400 mm, yhdistelmän U-arvo 0,095-0,11 W/m²K.

Käsikirjoissa annetaan löysän lumen λ -arvoksi 0,09-0,14 sen tiivyydestä riippuen. Edellä on esitetty molempien ääriarajojen mukaan lasketut U-arvolukemat.

Olosuhteissa, joissa lumipeitteen paksuudesta johtuen pakkasellakin tapahtuu sulamista katteen pinnassa, eivät yllä olevat laskelmat sellaisenaan pidä paikkaansa. Tällöin kuitenkin voidaan esim. todeta toimivan U-arvon olevan alkuperäinen 0,35 W/m²K, mutta säästöä saavutetaan vaikkapa kymmenen asteen pakkasella sillä, että sisä- ja ulkolämpötilojen ero Δt onkin vain sisälämmön (esim. +20 °C) ja sulavan lumen 0-asteen erotus 20 °C, eikä sisälämpötilan ja -10 °C asteen lämpötilaero 30 °C. Näissä olosuhteissa siis lumettoman katon kautta kulkeva lämpövirta olisi 50 % suurempi.

Lumen sulaminen katso myös kappale 21.1.



Massiivikatto siporex-vaakaelementtihallissa.

29.1 Yleistä

Siporex-rakenteilla saavutettava tiiviys, materiaalin keveys ja homogeenisuus sekä huokoisen pinnan absorptiokyky ovat ominaisuuksia, jotka pitkälti määrittelevät siporexin ääniteknisen käyttäytymisen.

Ääneneristävyttä joudutaan selvittämään pääasiasa asuinhuoneistojen keskinäistä eristävyttä tutkittaessa, mutta myös esim. eristävyys ulkopuolista liikenne- tai lentomelua vastaan tai meluavan teollisuuden eristäminen ympäristöstään saattavat vaatia siporex-rakenteen eristävyteen perehtymistä. Absorptio-ominaisuuksia selvittää useimmiten teollisuustilojen ja vastaavatyypisten kohteiden yhteydessä.

Vaikka yksittäisten pientalojen sisäiselle eristävyydelle ei asetetakaan erityisiä vaatimuksia, on niiden asumisviihtyvyyttä helppo parantaa, kun suunnittelussa otetaan huomioon myös ääneneristysnäkökohdat.

Määritelmiä

Ilmaääneneristysluku R_w ilmoittaa rakenteelle laboratorio-olosuhteissa mitatun ilmaääneneristävyden. Ilmaääneneristysluku R'_w taas kertoo rakennuksessa mitatun eristävyden arvon.

Vastaavasti askeläänitasoa merkitään $L_{n,w}$ (dB), kun kyseessä on tilojen välisen rakenteen laboratoriomittaus ja $L'_{n,w}$ (dB), kun kyseessä on mittaus rakennuksessa.

Siporex-pinnan absorptiokyky

Käsittlemättömän siporex-pinnan äänenabsorptiokerroin on luokkaa 0,1-0,2 jaksolukualueella 100-4000 Hz. Esimerkiksi betonipintaan verrattuna siporex-pinta vaimentaa melua noin kymmenkertaisesti. (kts. kuva G1)

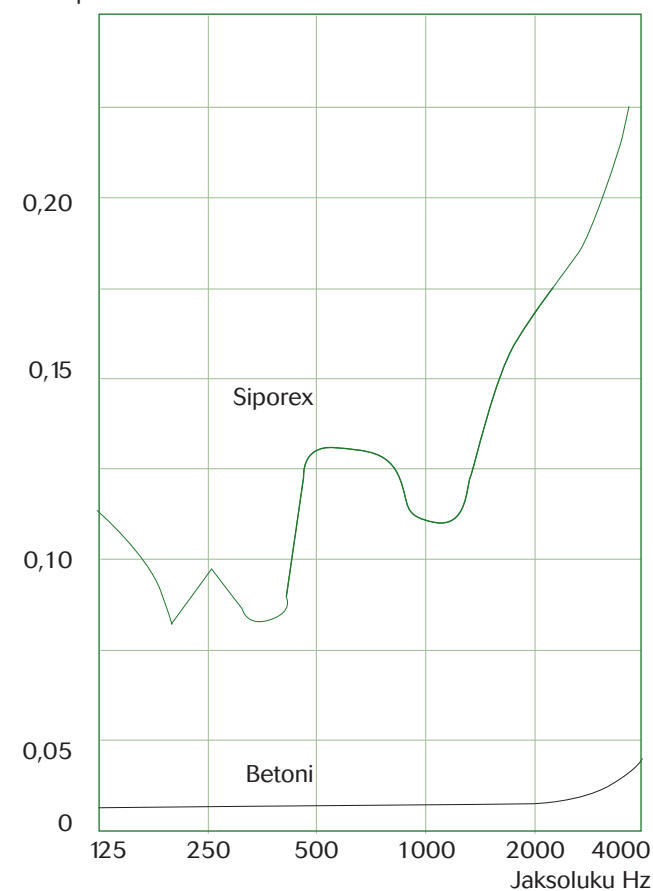
29.2 Ääneneristävyysvaatimukset

Rakennusten eri käyttömuotoihin liittyvät eristysvaatimukset on esitetty Rak. MK C1:ssä; Ääneneristys ja

meluntorjunta rakennuksessa; Määräykset ja ohjeet 1998. LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttaman melun sallitut maksimiarvot on esitetty samassa julkaisussa.

Myös esim. kaavamääräykset saattavat sisältää vaatimuksia rakennuksen ulkovaipan eristävydestä liikenne- tai lentomelua vastaan.

Absorptiokertoimet



Kuva G1. Siporexin (kuivatiheys 500 kg/m³) ja betonin äänenabsorptiokertoimia.

Taulukko G1

Yksinkertaisten siporex-seinien ilmaääneneristyslukuja R_w ja R'_w .

Seinän paks. mm	Kuivatiheys kg/m ³	Pinnoite vähintään	R_w	R'_w
68	500	tasoite + tasointe	34 dB	25-30 dB
88	500	"	35 dB	30 dB
100	500	"	36 dB	30 dB
150	500	"	40 dB	35 dB
200	500	"	44 dB	40-44 dB
250	450	"	45 dB	40 dB
300	450	tasoite + ohutpinnoite	46 dB	40 dB
375	400	"	47 dB	

29.3 Ilmaäänät

29.3.1 Yleistä ilmaääneneristävydestä

Siporex-seinätyypeillä valmiissa rakenteissa saavutetaan ääneneristävyteen vaikuttaa useita tekijöitä:

- materiaalin ääneneristysominaisuudet; siporexin tiheys ja kimmomoduuli
 - rakenneosan konstruktio; paksuus, kerroksellisuus jne.
 - sivutiesiirtymät ohi varsinaisen seinämärakenteen
 - rakennustyön laatu; esim. tiivistyksien onnistuminen.
- Kaikkien näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena muodostuu rakennusten eri tilojen välinen todellinen ilmaääneneristävyys.

29.3.2 Massiiviseinät

Massiiviseinien eristävyys ilmaääniä vastaan riippuu lähinnä seinän painosta, eli sen paksuudesta ja massan tiheydestä.

Yksinkertaisille siporex-massiiviseinille on eri tutkimusten perusteella saatu taulukon G1 mukaisia laboratoriossa mitattuja ilmaääneneristyslukuja R_w . Taulukon R'_w -arvot ovat eristävyksiä, jotka riittävällä luotavuudella voidaan katsoa saavutettavan valmiissa rakenteessa seinien toisistaan rajoittamien tilojen välillä, kun rakenteet esim. sivutiesiirtymää ja vuotokohtia ajatellen ovat kunnossa. Eristävyys voi olla myös parempi kuin ilmoitetut R'_w -arvot riippuen kohdassa 29.3.1 esitetyistä seikoista ja esim. pinnoitteiden laadusta.

29.3.3 Kaksoisseinät ja pintaverhotut seinät

Kaksoisrakenteisten siporex-seinien tai massiiviseinään liitettävien levyverhousten avulla voidaan toteuttaa korkeimmatkin ääneneristysvaatimukset täyttävät seinärakenteet.

Taulukko G2

Kaksinkertaisten seinien ilmaääneneristyslukuja

Rakennepaksuudet mm. (katso kuva G2). Materiaalin tiheys 500 kg/m^3 , ellei toisin mainita.

d1	d2	d3	d4	d5	R_w	R'_w ¹⁾	R'_w ²⁾
68	54	50	88	210	61 dB	55 dB	55 dB
100	100	50	100	300		55 dB	57 dB
125	100	50	125	350		55 dB	
150	50	30	150	350	59 dB	55 dB	57 dB
150	70	70	150	370	62 dB	55 dB	
150	100	75	150	400		60 dB	
175	25	25	175	375			63 dB (600 kg/m^3)
175	40	40	240	455			73 dB (600 kg/m^3)

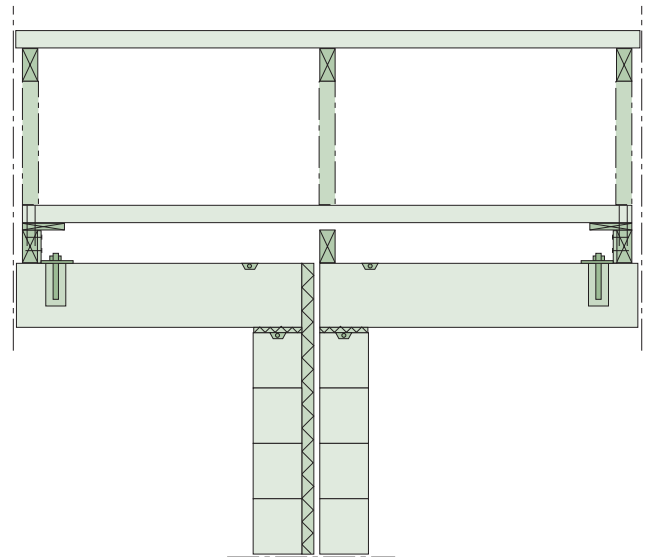
1) R'_w -arvo riippuu mm sivuavista rakenteista ja niihin liittymisestä. Kaksoisseinän välilinja voi olla katkaistu tai sivuavien rakenteiden vaikutus on tarkastettava esim. Ympäristöopas 99: (Ääneneristys rakennuksessa) ohjeiden tai VTT:n lausunnon ehtojen mukaisesti.

2) Rakennuskohteista mitattuja R'_w -arvoja.

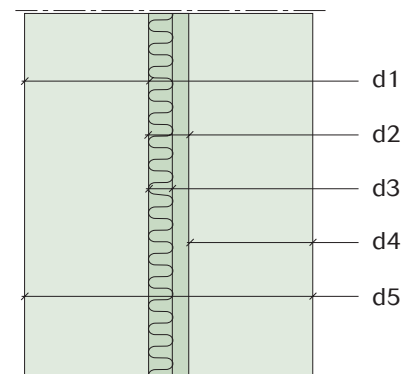
Taulukossa G2 on esitetty joukko yleisiä kaksoisseinätyyppejä ja niillä saavutettavia ilmaääneneristysluvun laboratorio-olosuhteissa mitattuja R_w -arvoja sekä R'_w -arvot, joiden mukainen eristävyys esim. VTT:n lausuntojen ja mittaustulosten mukaan seinärakenteita käytäen on rakennuksen tilojen välillä riittävän luotettavasti saavutettavissa. Siluavien rakenteiden ja niihin liittymisen on oltava esitettyjen ehtojen mukaiset. Taulukossa olevat R'_w ²⁾-arvot ovat esimerkkejä Suomessa ja ulkomailla rakennuksista mitatuista todellisista R'_w -arvoista.

Kaksoisseinän osia ei saa kiinnittää toisiinsa muuraussiteillä tai vastaavilla rakenteilla, koska eristävyys tällöin heikkenee jyrkästi. Mikäli seinän puoliskot esim. rivitaloissa on lujussyistä liitettävä toisiinsa, on liitoksesta tehtävä värähtelyjä heikosti johtava ja liitoskohtia on oltava mahdollisimman vähän. Liitokset sijoitetaan seinälevyn laidoille, esimerkiksi ylä- ja väliholvien tasoon.

Kuvassa G3 on esimerkki kaksoisseinän liitoksesta, joka toteutetaan yläpuolisen puurakenteen avulla. Il-



Kuva G3. Huoneistojen liitos yli kaksoisseinän.



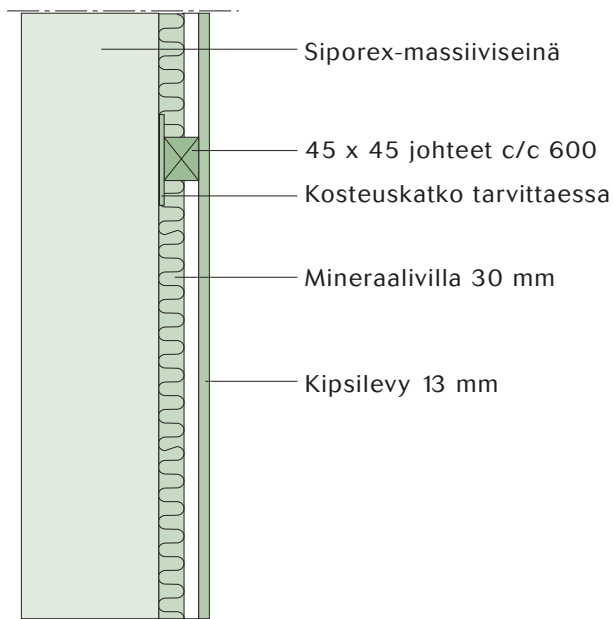
Kuva G2. Taulukon G2 kaksoisseinän merkinnät.

maääneneristyslukuun R'_w vaikuttavat huomattavasti myös seinää ympäröivät muut rakenteet, kts. Sivutieli-siirtymä kohdassa 29.3.6.

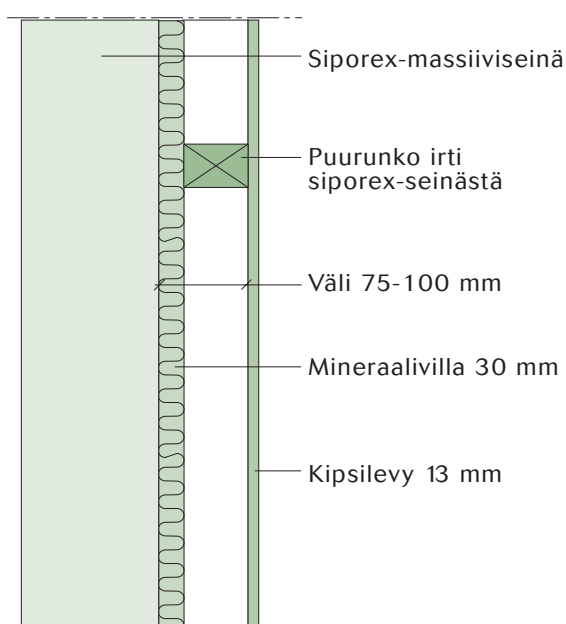
Yksinkertaisella levyverhouksella voidaan massiiviseinien eristävyttä parantaa esim. hallirakennusten yhteyteen sijoitettavien konttoritilojen seinissä. Kuvassa G4 on kaksi esimerkkiä levyeristyksestä.

Kaksoiseinän sokkelit

Ympäristöministeriön v. 2003 julkaiseman Ympäristöopas 99:n "Ääneneristys rakennuksissa" kohdan 2.4 mukaan kaksinkertaisen kiviaineisen erottavan seinän perustuksena käytetään halkaistua perustaa. Vaatimukset täyttävän eristävyden antaa kuitenkin myös kuvan G5 mukainen seinän alapään joustava liitos sokkeliin (VTT LVI 5862) tai joustava liitos ja n. 400 mm syvä sokkelinhalkaisu.



Eristävyyden lisäys $\Delta R'_w = 5-10$ dB

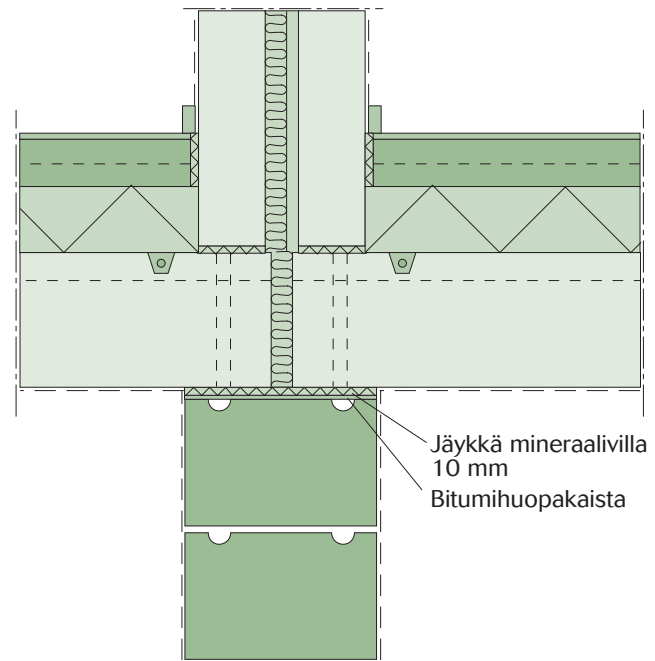


Eristävyyden lisäys $\Delta R'_w = 15-20$ dB

Kuva G4. Levyrakenteen vaikutus massiiviseinän ilmaääneneristävyyteen.

29.3.4 Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys

Kun tutkitaan rakennuksen eristävyttä esimerkiksi lento- tai liikennemelua vastaan, lasketaan rakennuksen tai sen osien, esim. meluisan kadun puolella sijaitsevien huoneiden kokonaisääneneristävyys. Se saadaan eri rakenneosien pinta-alat ja eristävydet sekä erilaisten vuotokohtien vaikutukset huomioon ottavasta laskelmasta. Vastaavasti voidaan selvittää rakennuksen sisäisen melun vaikutusta ympäristöön esim. teollisuus-



Kuva G5. Siporex rakenteiden joustava liitos sokkeliin.

Taulukko G3

Siporex-ulkovaipan eristävyksiä

- Eristävyys tieliikennemelua vastaan R_w (Ctr)
- Eristävyys lento- ja muuta liikennemelua vastaan R_w (C)

	R_w (Ctr)	R_w (C)
Harkkoukoseinä 375 mm	40 dB	44 dB
Yhdistelmäseinä, jossa 150 mm siporex ja 130 mm mineraalivilla, ilmarako, 85 mm tiili, siteitä 4 kpl/m ²	52 dB	56 dB
Yhdistelmäseinä, jossa 250 mm siporex ja n. 80 mm mineraalivilla, ilmarako, 85 mm tiili, siteitä 4 kpl/m ²	52 dB	56 dB
Yläpohja, jossa 250 mm siporex, 150 mm mineraalivilla, ilmarako ja kattotiili tai vastaava kate	54 dB	58 dB

Hallirakennusten 250 mm massiivikaton R_w -arvo on n. 48 dB.

Huopakate siis parantaa arvoa n. 3 dB muuten vastaavaan massiiviseinään verrattuna.

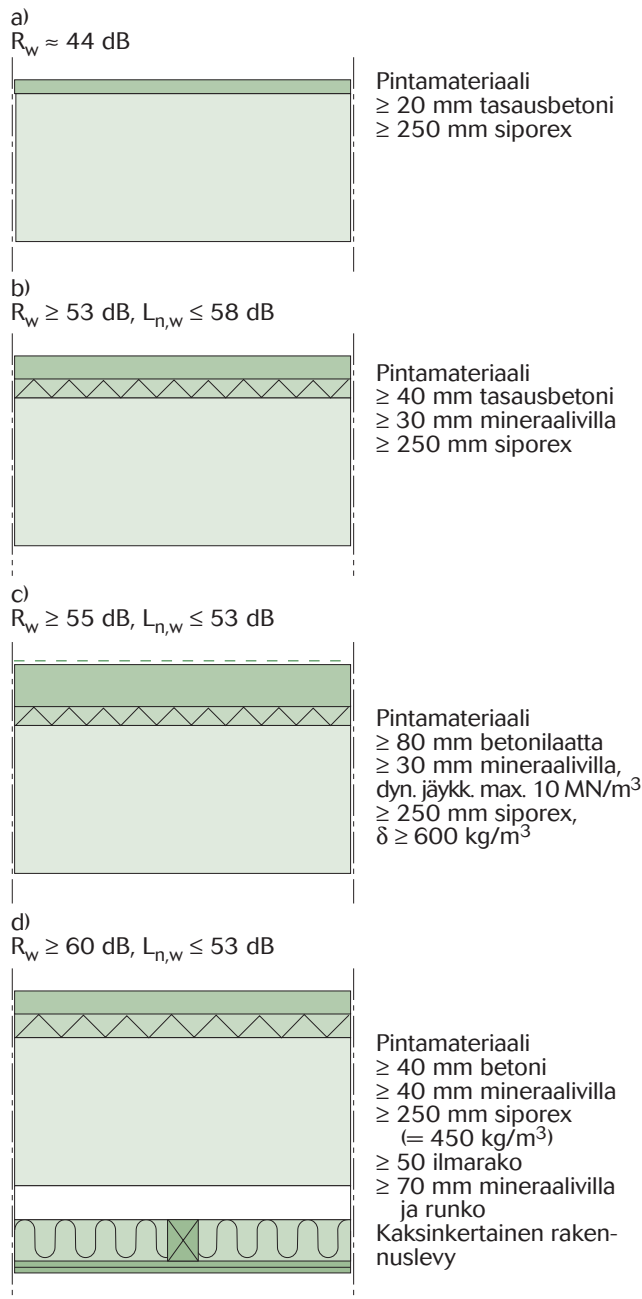
nessa. Useimmiten nämä tehtävät suorittaa ääniteknikaan perehtynyt asiantuntija.

Melun taajuusjakauman perusteella voidaan erottaa taulukon G3 ääneneristysarvot.

29.3.5 Välipohjat

Kuten tunnettua, yksittäisten pientalojen tai esimerkiksi rivitalo- ja kerrostalojen välipohjille ei aseteta erityisiä numeerisia ääneneristysvaatimuksia. Nämä tulevat kysymykseen esim. pienkerrostaloissa, joissa päällekkäiset tilat kuuluvat eri huoneistoihin. Usein halutaan kuitenkin esim. huoneiston sisäiset välipohjat rakentaa johonkin tiettyyn ääneneristävyyden luokkaan, vaikka varsinaisia määräyksiä asiasta ei olisikaan.

Tavanomaisten siporex-välipohjatyypin ilmaääneneristyslukuja R_w on esitetty kuvassa G6. Rakennuksissa saavutettavat eristävyydet R'_w riippuvat huomattavasti siitä, kuinka hyvin sivuavien rakenteiden kautta kulkeva ääni saadaan katkaistuksi.



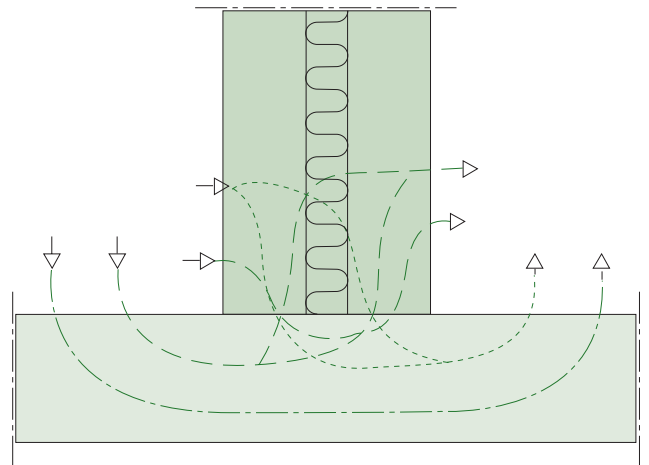
Kuva G6. Siporex-välipohjien ääneneristävyyksiä.

29.3.6 Sivutiesiirtymä

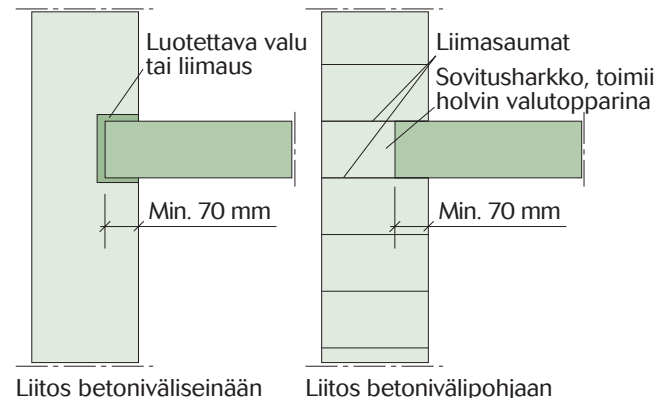
Vaikka eri tiloja välittömästi erottavan seinän tai välipohjan ääneneristävyyden olisi riittävä, saattaisi muita rakenteita pitkin esimerkiksi siporex-kaksoiseinän ohi siirtyvä äänen värähtely vaikuttaa ratkaisevasti tilojen väliseen eristävyyteen. Tämä sivutiesiirtymän tunnettu värähtely saattaa tapahtua puhtaasti pitkin sivuavia rakenteita tai siirtyä väliseinästä ympäröiviin rakenteisiin ja päinvastoin. (kts. kuva G7).

Nurkkakohtien sitominen

Kun siporex-ulkoseinä liittyy esim. kerrostalon raskaaseen betonirunkoon, eliminoidaan siporexin kautta etenemään pyrkivä sivutiesiirtymä rakenteiden katkaisun sijasta useimmiten sitomalla siporex-ulkoseinä jäykästi kiinni värähtelyn ehkäisevään raskaaseen betonirakenteeseen. Näin voidaan menetellä sekä sivusuuntaista siirtymää ajatellen huoneistojen väliseinien kohdalla että pystysuuntaa ajatellen holvien kohdalla. VTT:n lausunnon (RTE 10283/96) mukaan betoniseinät ja -holvit on upotettava vähintään 70 mm siporex-seinän sisään. Liitoksen tiiviys ja jäykkyys on varmistettava valutai laastikiinnityksellä. (kts. kuva G8)



Kuva G7. Sivutiesiirtymäväyliä.

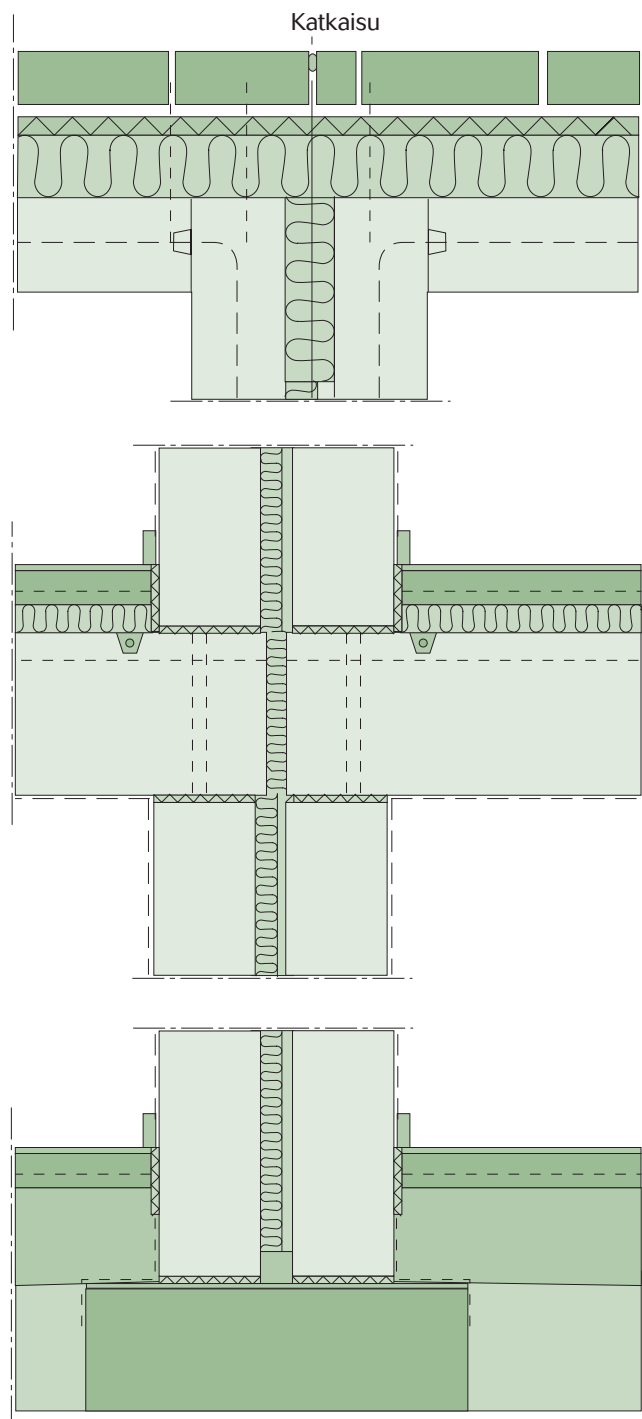


Kuva G8. Siporex-ulkoseinän jäykkä liitos betonirunkoon. Äänitekniset vaatimukset.

Katkaistut rakenteet

Sivutiesiirtymänä tapahtuva äänen kulku estetään siporex-runkoisessa talossa normaalisti erottamalla rakenteet toisistaan tai tekemällä niiden väliset liitokset riittävän joustaviksi.

Kuvassa G9 on esitetty tyypillisiä siporex-rivitalojen rakenteita, joissa äänen kulku on estetty rakenteissa olevilla katkaisuilla ja joustavilla liitoksilla. Myös pystysuuntaista eristävyttä tarvittaessa on muistettava välipohjan ja seinien liitosten joustavat rakenteet, esim. mineraalivilla tai pehmeä neopreeni.



Kuva G9. Siporex-talojen ääneneristyskatko huoneistojen välisessä seinässä.

29.4 Askeläänet ja muut runkoäänet

29.4.1 Askelääni

RakMK C1:ssä esitetyt eri tilojen väliset eristävyysvaatimukset koskevat siporex-rakennuksissa yleensä pienkerrostaloja ja rivitaloja. Vaikka virallisia vaatimuksia yksittäisten pientalojen tai esim. konttorirakennusten askelääneneristävydestä ei olekaan, suunnitellaan myös näiden rakenteet usein minimitasoa parempaa asumis- ja työskentelyviihtyvyyttä ajatellen.

Taulukossa G4 on esitetty yksinkertaisten siporexvälipohjien likimääräisiä eristävyksiä, kun käytetään erilaisia lattia pintamateriaaleja. Kuvassa G6 on yhdistelmä rakenteiden askelääneneristysarvoja.

Koska askeläänien eristävyteen vaikuttaa tiloja erottavan välipohjarakenteen lisäksi myös muiden rakenteiden kautta tuleva värähtely, on esim. välipohjan ja sitä kannattavan seinän liitoksen oltava joustava, kts. kuva G9. Tarvittaessa antaa valmistajan siporex-suunnittelupalvelu lisätietoja sopivista liitos- ym. rakenteista. Detaljikuva; kts. 11.5.1

29.4.2 Muut runkoäänet

Varsinaisten askeläänien lisäksi syntyy huoneistossa asumisesta ja sen kojeista ääniä ja värähtelyjä, jotka saattavat vaikuttaa asumismukavuuteen naapurissa ja myös huoneiston sisällä. Siporex on esim. betoniin verrattuna huomattavasti kevyempää, mutta vastaavalla tavalla monoliittista rakennusmateriaalia, joten se, kuten betonikin, saattaa välittää kolahduksia ym. mekaanisia ääniä eteenpäin. Rakentamismääräyskokoelman C1- osassa esitetyt laitteistojen ja kojeiden aiheuttaman melun ylärajat on syytä ottaa huomioon myös seinämiin välittyvistä värähtelyistä mahdollisesti syntyvien ilmaäänien osalta. Melua saattavat aiheuttaa esim.

- vesijohtojen virtausäänet
- viemäreiden mutkakohdat
- jäykästi rakenteisiin kiinnitetyt kevyet portaat
- kiintokalusteiden ovet, pesupöydät jne.

Taulukko G4 Siporex-massiivivälipohjan askelääneneristävyksiä

Välipohja KT 450/3,2 -elementistä, paksuus 250 mm, tasoite yläpinnassa 10 mm. Askelääneneristävyys riippuu huomattavasti valitusta pintamateriaalista, siksi oheiset luvut ovat vain suuntaa antavia.

Lattianpäällyste	Askeläänentasoluku $L_{n,w}$
Kova	78 dB
Pehmeä muovimatto	73 dB
Tekstiilimatto	68 dB

Muiden siporex-välipohjarakenteiden askelääneneristävyksiä on esitetty kuvassa G6.

- koneet ja kojeet, esim. astianpesukoneet, pyykkikoneet, kuivausrummut, huippuimurit, rakenteisiin liian jäykästi kiinnitetyt ilmanvaihdon lämmönvaihtimet, kiertovesipumput jne.

29.4.3 Runkoäänet ja suunnittelu

Kun äänilähteet otetaan huomioon, voidaan oikealla suunnittelulla helposti ja usein ilman lisäkustannuksia parantaa tilojen ääniteknistä tasoa huomattavasti.

Melun minimointiin voidaan tilanteesta riippuen pyrkiä esim. seuraavilla suunnittelu- ja rakennejärjestelyillä:

- melu- ja värähtelylähteen sopiva sijoitus
- huoneistojen keskinäiset ja huoneiston sisäiset toimintojärjestelyt
- melua vaimentavat, joustavat kiinnitykset putkille, koneille, portaille jne. Erityistapauksissa voidaan jopa

turvautua värähtelyä vaimentavien lisämassojen ja värähtelynvaimentimien käyttöön.

- melulähteiden keskittäminen ja eristäminen
- oikein mitoitetut rakenteet ja rakenneliitokset (esim. putken riittävä läpimitta, asiantuntijan valitsemat kiinnitystavat).

Myös varsinaiseen huoneiston sisäiseen ääneneristävyyteen on viime aikoina panostettu enenevässä määrin. Välipohjan "kelluva" pintalaatta, makuuhuoneiden lisäeristys ym. seikat ovat rakennusaikana helposti toteutettavia ja kohtuuhintaisia ratkaisuja.



Pientalon runko siporex-harkoista ja -elementiestä.

30.1 Palonkestävyys

Siporex on täysin palamaton materiaali. Rakennustarvikkeiden paloteknisessä luokituksessa se kuuluu parhaaseen mahdolliseen eli A1-luokkaan. Siporexista tehtyjen rakenteiden palonkestävyydet on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman julkaisussa B5 sekä Ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäpäätöksessä 101/6121/98 24.8.1998.

Siporex kestää hetkellistä korkeankin lämpötilan vaikutusta hyvin. Huokoisuus suojelee materiaalia betoneille tyypillisiltä höyrystyvän veden aiheuttamilta vaurioilta. Pitkäaikainen kuumentaminen saa materiaalisia hitaasti aikaan fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia. Tasapainokosteudesta edelleen kuivuminen aiheuttaa massan kutistumista. Voimakkaampi kutistuminen tapahtuu 200-300 °C vaiheilla useita tunteja kestävä palon yhteydessä. Tämän jälkeen kutistuma säilyy vakiona, kunnes se noin 700 °C vaiheilla jälleen kasvaa.

Koska palolämpö tunkeutuu materiaaliin erittäin hitaasti, syntyy voimakkaassakin lyhytaikaisessa palossa yleensä vain siporexin pintaan kutistumasta johtuva halkeamaverkko. Pitkäaikainen palo saattaa johtaa läpi rakenteen oleviin halkeamiin, jos kutistumisliikkeet on esitetty. Fysikaalisesti ja kemiallisesti sidotun veden haihtuessa myös tilavuuspaino pienenee. Puristuslujuus säilyy lämpötilan noustessa vakiona + 700 °C asti. Tämän jälkeen se laskee likimain suoraviivaisesti siten, että se + 800 °C kohdalla on 50 % alkuperäisestä ja + 900 °C kohdalla nolla. Sintrautumislämpötila on n. 1000 astetta ja materiaali sulaa 1100-1200 asteessa.

30.1.1 Palotekniset vaatimukset

Suomen rakentamismääräyskokoelman E1-julkaisu "Rakennusten paloturvallisuus" esittää erityyppisten rakennusten rakennusosien kantavuudelle (R), tiiviydelle (E) ja eristävyydelle (I) asetettavat palotekniset vaatimukset.

30.2 Seinien paloluokitus

Harkkoseinät

Suomen Rakentamismääräyskokoelman julkaisun B5, "Kevytbetoniharkkorakenteet", paloteknistä mitoitusta käsittelevässä osassa 6 on annettu siporex-harkkoseinien toiminnan ja paloluokan vaatimat seinien vähimmäisnimellispaksuudet.

Näiden tietojen perusteella laadittu taulukko G5 esittää eri seinäpaksuuksilla saavutettavat E1-julkaisun mukaiset luokitusarvot.

Paloseinänä käytettävän siporex-harkkoseinän maksimihoikkuus

Rakentamismääräyskokoelman B5 -julkaisun kohdan 6.2.2 mukaan paloluokitellun siporex-harkkoseinän korkeuden suhde paksuuteen (L_c/h) saa olla korkeintaan 26. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon, että ky-

seessä on ns. redusoitu korkeus, joka on riippuvainen mm. seinän piteuden suhteesta sen paksuuteen ja seinää tukevien jäykistävien rakenteiden keskinäisestä etäisyydestä sekä seinän piteuden ja korkeuden suhteesta. Tämä selvitetään saman julkaisun kohdassa 3.6.1. Esimerkiksi 4500 mm korkean, 4500 mm piteän ja 150 mm paksun seinän redusoitu korkeus on 2,7 metriä.

Elementtiseinät

Siporex-elementtiseinien paloluokat eri seinäpaksuuksilla on määritetty siporex-elementtejä koskevassa tyyppihyväksynnässä.

Paloseinänä käytettävän siporex-elementtiseinän maksimihoikkuus

Tyyppihyväksynnässä ei ilmoiteta elementtiseinälle maksimihoikkuusvaatimuksia.

Valmisteilla olevan prEN 12602:n liite C: kohta 4.2.3.1 "Non load bearing walls" ilmoittaa osastoivien ei-kantavien siporex-elementtiseinien maksimihoikkuudeksi (= vähintään kahden puolen seinää olevien tukilinjojen maksimiväliksi) L/h 40. Nykyiset seinäelementtien mitat täyttävät myös tämän vaatimuksen, esim. 150 x 600 x 5980 elementillä L/h on juuri maksimissaan 40.

Palomuurit

Valmistumassa olevien eurooppalaisten standardien mukaan myös M-luokan palotekniset vaatimukset täytävä palomuuuri voidaan valmistaa siporex-harkkoista tai elementeistä. PrEN 12602:n liitteen C kohdan 4.2.4 "Fire walls" mukaan elementeillä saavutetaan eri paksuuksien (175-300 mm) ja terästen suojakerroksien yhdistelmillä normaalit REI-M ja EI-M luokitusten arvot 30-180 min. Harkkoseinän paksuusvaatimuksia on esitetty standardissa prEN 1996-1-2 "Design of masonry structures, Part 1-2: General rules/Structural fire design, Annex B".

Palomuuriseinän testaus tyyppihyväksyntää varten on tällä hetkellä Suomessakin määrätty suoritettavaksi polttokokeen yhteydessä tehtävällä iskukokeella SFS-EN 1363-2:1999 Fire resistance tests Part 2: Alternative and additional prosedures (1/2000) mukaisesti. Se vastaa jo vuosikymmeniä Saksassa käytettyä testi menetelmää (DIN 4103, luku 3). Eurooppalaisten standardien ollessa valmistumassa ei nykyisessä tilanteessa siporex-rakenteille ole lähdetty hakemaan M-luokitusta koskevaa tyyppihyväksyntää, joka osin perustuisi ehkä lähitulevaisuudessa muuttuviin määräyksiin.

H + H Siporex Oy:llä on kuitenkin täydet valmiudet tuottaa saksalaisten DIN 4102:n kohdassa 4.8.9 esitettyjen suunnitelmien mukaisia, saksalaiset vaatimukset täyttävään tapaan raudoitettuja ja tämän hetken euro normiehdotukseen nähden jopa ylimitoitettuja palomuurielementtejä. Näiden käyttömahdollisuus on syytä sopia rakennuskohdetta valvovien viranomaisten kanssa.

Haluttaessa valmistaja antaa mielellään lisätietoja palomuurielementeistä.

Taulukko G5

Siporex-harkkoseinien eri paksuuksilla saavutettavat käyttötavan vaatimat paloluokitukset

Rakenneosan käyttö	Siporex-harkkoseinän paksuus							
	68	88	100	150	200	250	300	375
Osastoiva kantamaton seinä (luokitusvaatimus EI)	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
	60	90	120	240	240	240	240	240
Osastoiva kantava seinä (luokitusvaatimus REI)	–	–	–	REI	REI	REI	REI	REI
	–	–	–	120	240	240	240	240
Osaston sisäinen kantava seinä (luokitusvaatimus R)	–	–	–	R	R	R	R	R
	–	–	–	120	240	240	240	240

R = kantavuus, E = tiiviys, I = eristävyys

Taulukko G6

Siporex-palomuurielementtien paksuudet ja raudoitteiden suojaetäisyydet prEN 12603:2003(E) kohdan C 4.2.4 Fire walls taulukon C 4 mukaan. Siporexin kuivatiheys 450...600 kg/m³.

Luokitus	REI-M 30	REI-M 60	REI-M 90	REI-M 120	REI-M 180
Minimipaksuus mm/minimisuojaetäisyys mm	200/30	200/30	200/40	250/40	300/60
Luokitus	EI-M 30	EI-M 60	EI-M 90	EI-M 120	EI-M 180
Minimipaksuus mm/minimisuojaetäisyys mm	200/30	200/30	200/30	250/30	250/30

Taulukko G7

Siporex-elementtiseinien eri paksuuksilla saavutettavat käyttötavan vaatimat paloluokitukset

Rakenneosan käyttö	Siporex-elementtiseinän paksuus						
	68	88	100	150	200	250	300
Osastoiva kantamaton seinä (luokitusvaatimus EI)	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
	60	90	120	240	240	240	240
Osastoiva kantava seinä (luokitusvaatimus REI)	–	–	REI	REI	REI	REI	REI
	–	–	90	120	240	240	240
Osaston sisäinen kantava seinä (luokitusvaatimus R)	–	–	R	R	R	R	R
	–	–	90	120	240	240	240

R = kantavuus, E = tiiviys, I = eristävyys

Taulukko G8

Laattaelementit ja niihin verrattavat rakennusosat, paksuuden ja raudoitteiden suojakerrosten vähimmäisvaatimukset

Paloluokka	REI 30		REI 60		REI 90		REI 120	
Elementin suurin jänneväli	Elementin vähimmäispaksuus = h mm Teräksiä suojaavan siporex- kerroksen vähimmäispaksuus = c mm							
	h	c	h	c	h	c	h	c
3,0 m	100	17,5	100	17,5	150	30,0	175	42,5
4,0 m	150	17,5	150	17,5	150	30,0	175	42,5
5,0 m	150	17,5	175	17,5	175	30,0	200	42,5
6,0 m	175	17,5	200	17,5	200	30,0	200	42,5

Huom! Kaikkia pituus/paksuusyhdistelmiä ei valmisteta.

Elementtien maksimituudet paloluokittain on esitetty seuraavassa taulukossa G8.

30.3 Ala- väli- ja yläpohjat

Ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäpäätöksen mukaan täyttävät siporex-kattoelementeistä tehdyt kantavat rakennusosat niiden paksuudesta, kuormituksesta ja terästen suojakerroksesta riippuen paloluokille REI 30 - REI 120 asetetut vaatimukset.

Kun rakennuksen laatatost muodostuvat siporex-elementeistä, joiden paksuus on vähintään 200 mm, on laataston paloluokitus aina vähintään REI 60, kun sen ominaiskuorma on korkeintaan 4 kN/m², ja kuormiin sisältyy vähintään 1,5 kN/m² suuruisena osana yksi tai useampia palomitoituksessa vähennettynä huomioon otettavista kuormatyypeistä, joita ovat oleskelukuorma, kokoontumiskuorma, tungoskuorma, lumikuorma tai tuulikuorma.

Teräksiä suojaavan siporex-kerroksen paksuutta lisäämällä päästään paloluokkiin REI 90 ja REI 120.

Taulukko G9

Kattoelementtien suurimmat sallitut nimellispiteudet eri paloluokissa

Kattoelementit, paloluokka REI 60. Teräksiä suojaavan siporex-kerroksen paksuus = 17,5 mm.

Kuivatiheys (kg/m ³)	Paksuus (mm)	Kuormaluokka (kN/m ²)		
		2.3	3.2	4.0
500	150	4000	3900	3600
500	200	6000	5100	4800
500	250	6000	6000	6000
450	250	6000	6000	5100
450	300	6000	6000	6000

Kattoelementit, paloluokka REI 90. Teräksiä suojaavan siporex-kerroksen paksuus = 42,5 mm.

Kuivatiheys (kg/m ³)	Paksuus (mm)	Kuormaluokka (kN/m ²)		
		2.3	3.2	4.0
500	150	3600	3000	2700
500	200	5100	4500	4200
500	250	6000	6000	5400
450	250	6000	5400	4500
450	300	6000	6000	5400

Kattoelementit, paloluokka REI 120. Teräksiä suojaavan siporex-kerroksen paksuus = 42,5 mm.

Kuivatiheys (kg/m ³)	Paksuus (mm)	Kuormaluokka (kN/m ²)		
		2.3	3.2	4.0
500	150	–	–	–
500	200	5100	4500	4200
500	250	6000	6000	5400
450	250	6000	5400	4500
450	300	6000	6000	5400

Taulukko on voimassa, kun elementtien tukipinnan pituus on ≥ 90 mm ja niiden kuormitus täyttää kappaleessa 29.3 esitetyt kuormitusehdot.

Eri paloluokissa vaadittavat siporex-kattoelementtien vähimmäispaksuudet ja teräksiä suojaavan kevyt-betonikerroksen paksuudet saadaan taulukosta G8. Taulukon käytön edellytyksenä ovat myöskin yllä esitetyt kuormitusolettamukset. Huom! Taulukossa esitetyt mitat ovat vain paloteknisiä raja-arvoja, kaikkia pituus/paksuusyhdistelmiä ei valmisteta.

30.4 Erillinen palomitoitus

Erikoistapauksissa, mikäli ei voida käyttää yllä olevien taulukkojen mukaisia elementtityyppejä, voidaan siporex-valmistajan suunnitteluorganisaation toimesta mitoittaa elementin palonkestävyys myös murtorajatilaan perustuen seuraavasti:

- teräksen myötöjännityksen aleneminen palotilanteessa ja terästen lämmön nousu saadaan VTT:n terästen lämpötilariippuvuutta selvittävästä raportista sekä kattoelementtien polttokokeen tutkimusselostuksesta
- mikäli normaalia käyttötilannetta vastaava rakenteen kapasiteetti ei ole riittävä rakenteen palonkestoaikaa määritettäessä, korotetaan palonkestoaikaa lisäämällä teräsmäärää ja/tai teräksiä suojaavan kevyt-betonikerroksen paksuutta.

G 31. SIPOREX-RAKENTEET JA U-ARVOVAATIMUKSET

Tässä kappaleessa esitetään eri rakenneosissa normaalisti käytettyjä siporex-ratkaisuja. Samoin mainitaan U-arvojen ns. perusratkaisut. Suunniteltavan rakennuksen kokonaislämmönkulutuksen on vastattava näiden perusratkaisujen mukaan laskettua vertailurakennuksen lämmönkulutusta, kun rakennuksen hyväksyttävyyden tarkastetaan Suomen Rakentamismääräyskokoelman julkaisujen C3:n ja D2:n vaatimusten mukaisesti. Laskelmista tarkemmin seuraavassa kappaleessa 32.

31.1 Asuinrakennus tai vastaava tila

Katto. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tauluslaskelmissa $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 1. Kuva G 10

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- al-pintainen PU-levy 100 mm tai kova mineraalivilla 150 mm
- höyrynsulku
- siporex-kattoelementti
- vesihöyryä läpäisevä pinnoite.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 , kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo (siporex laatua 500)

Siporex 250 + min.villa 150 ($\lambda_n = 0,037$),

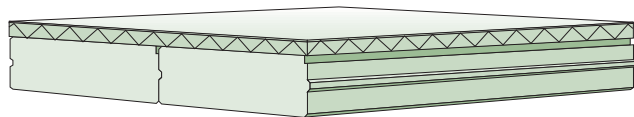
U-arvo = $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Siporex 250 + PU-levy 100 ($\lambda_n = 0,024$),

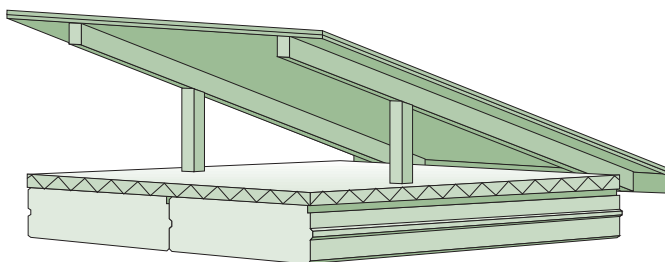
U-arvo = $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 2. Kuva G 11

- Vesikattorakenne
- vesikaton runkorakenne
- mineraalivilla
- siporex-elementti
- pintakäsittely.



Kuva G 10.



Kuva G 11.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 , kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo (siporex laatua 500)

Mineraalivilla 150 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Mineraalivilla 200 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Mineraalivilla 250 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Mineraalivilla 300 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Kattorakenne 3. Kuva G 12

- Kattotiilet
- ruoteet, esim. 50×50
- aluskatteen naulausrima, esim. 50×22 tai 100×22
- aluskate
- koolaus 50×100 K900-K1200 ja tuuletusrako
- mineraalivilla, siporex-korokkeet läpi villan
- bitumivuorauspaperi (vesihöyryä läpäisevä)
- siporex-elementti
- pintakäsittely.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 , kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo (siporex laatu 500)

Mineraalivilla 150 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$**

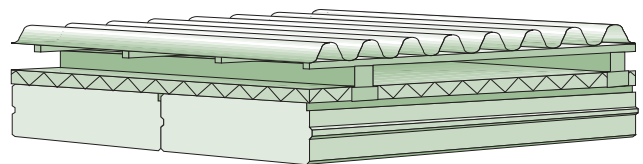
Mineraalivilla 200 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Mineraalivilla 250 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$**

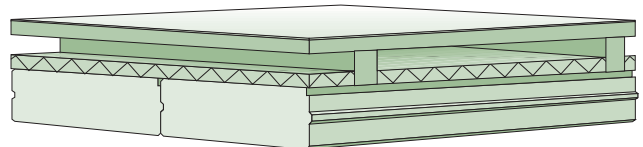
Mineraalivilla 300 mm ($\lambda_n = 0,041$), **U = $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Kattorakenne 4. Kuva G 13

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- siporex-huovanaluselementit 68 mm
- tuuletusrako 75 mm
- mineraalivilla 75 mm
- (tuuletusraon ja mineraalivillan osalla siporex-korokkeet 150 mm)



Kuva G 12.



Kuva G 13.

- siporex-elementti
- pintakäsittely, tiivis.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m³, kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m³, kun L > 51M.

U-arvo

U = 0,22-0,24 W/m²K riippuen katon tuuletustavasta.

Ryömintätillallinen alapohja.

Perusratkaisu lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,20 W/m²K

Alapohjarakenne 1. Kuva G 14

- Lattianpäällyste
- betoni, verkotettu
- muovi
- PU-levy 80 mm, paperipintainen
- siporex-elementti
- tuuletettu ryömintätila.

Siporex-tuote

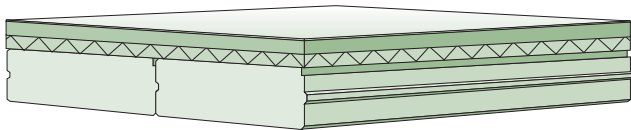
Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m³, kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m³, kun L > 51M.

U-arvo (siporex laatu 500)

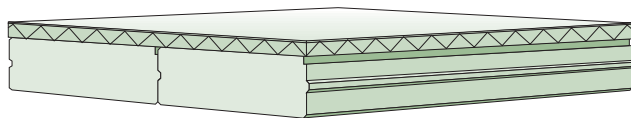
Polyuretaani 80 mm ($\lambda_n = 0,030$), U = 0,20 W/m²K
Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,8 x 0,20 = 0,16 W/m²K (Ympäristöopas 106)

Alapohjarakenne 2. Kuva G 15

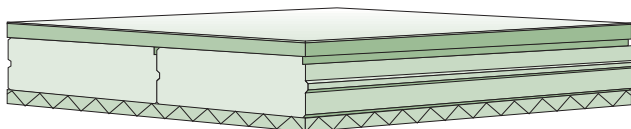
- Lattianpäällyste
- pontattu lastulevy
- muovi
- eriste
- siporex-elementti
- tuuletettu ryömintätila.



Kuva G 14.



Kuva G 15.



Kuva G 16.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m³, kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m³, kun L > 51M.

U-arvo (siporex laatu 500)

Polyuretaani 80 mm ($\lambda_n = 0,030$), U = 0,19 W/m²K
Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,16 W/m²K (Ympäristöopas 106)

Polystyreeni 100 mm ($\lambda_n = 0,037$), U = 0,20 W/m²K
Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,16 W/m²K (Ympäristöopas 106)

Alapohjarakenne 3. Kuva G 16

- Lattianpäällyste
- betoni, verkko
- siporex-elementti
- mineraalivilla, mekaaninen kiinnitys (huom. Ei PU, polystyreeni tms. tiivis eriste)
- tuuletettu ryömintätila.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m³, kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m³, kun L > 51M.

U-arvo (siporex laatu 450)

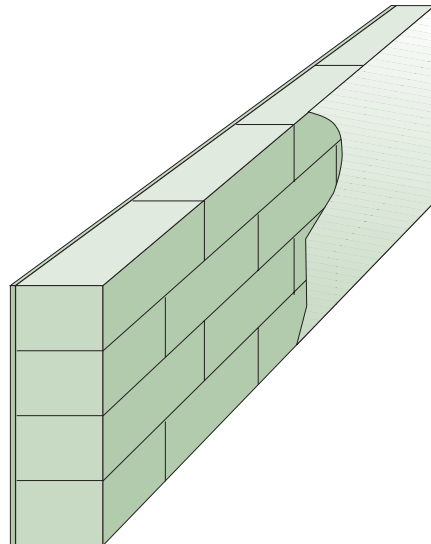
Mineraalivilla 100 mm, ($\lambda_n = 0,041$) U = 0,20 W/m²K
Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,16 W/m²K (Ympäristöopas 106)

Mineraalivilla 150 mm, ($\lambda_n = 0,041$) U = 0,16 W/m²K
Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,13 W/m²K (Ympäristöopas 106)

Ulkoseinä. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa U = 0,25 W/m²K

Ulkoseinärakenne 1. Kuva G 17

- Kolmikerrosrappaus tai kuitulaastirappaus
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite
- sisäpinnan käsittely; maalaus tai tapetti.



Kuva G 17.

Siporex-tuote

Harkot, paksuus 375 mm, laatu 400 kg/m³
Suurharkot, paksuus 375 mm, laatu 400 kg/m³

U-arvo

Siporex-harkot **U = 0,28 W/m²K**
Siporex-suurharkot **U = 0,28 W/m²K**

Ulkoseinärakenne 2. Kuva G 18

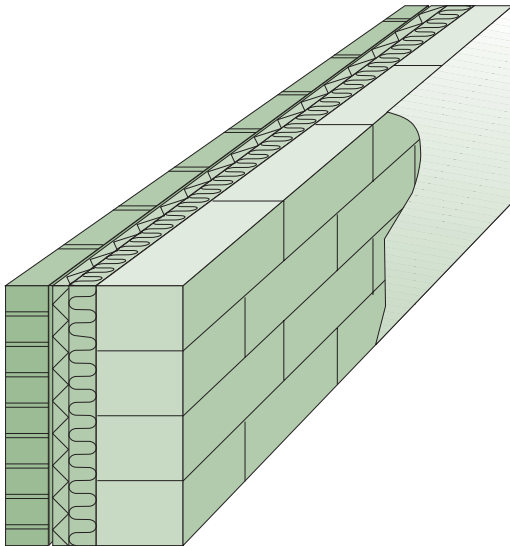
- Tiili- tai puuverhous
- ilmarako
- lisäeriste
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite
- sisäpinnan käsittely, maalaus tai tapetti.

1) Siporex-tuote

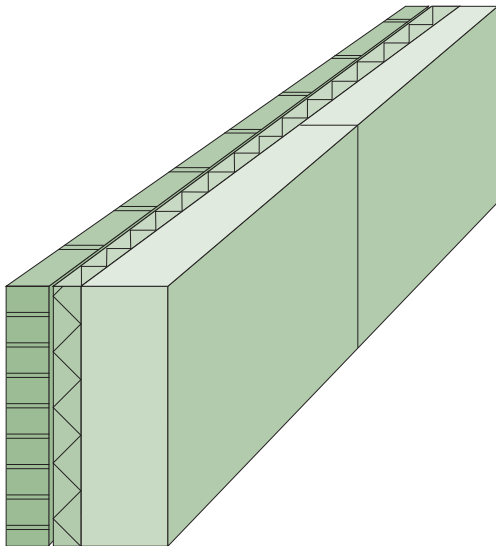
Harkkoseinä 250 mm, laatu 450 kg/m³

U-arvo

Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,041$) 80 mm, **U = 0,25 W/m²K**
Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,037$) 100 mm, **U = 0,20 W/m²K**



Kuva G 18.



Kuva G 19.

2) Siporex-tuote

Harkkoseinä 150 mm, laatu 500 kg/m³

U-arvo

Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,037+0,041$) 80 + 30 mm,
U = 0,25 W/m²K
Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,037+0,041$) 100 + 30 mm,
U = 0,22 W/m²K

Ulkoseinärakenne 3. Kuva G 19

- Tiili- tai puuverhous
- ilmarako
- lisäeriste
- siporex-pysty- tai vaakaelementit
- tasoite
- sisäpinnan käsittely, maalaus tai tapetti.

Siporex-tuote

Elementtiseinä 150 mm, laatu 500 kg/m³

U-arvo

Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,037 + 0,041$) 80 + 30 mm,
U = 0,25 W/m²K
Mineraalivilla ($\lambda_n = 0,037 + 0,041$) 100 + 30 mm,
U = 0,22 W/m²K

Ulkoseinärakenne 4. Kuva G 20

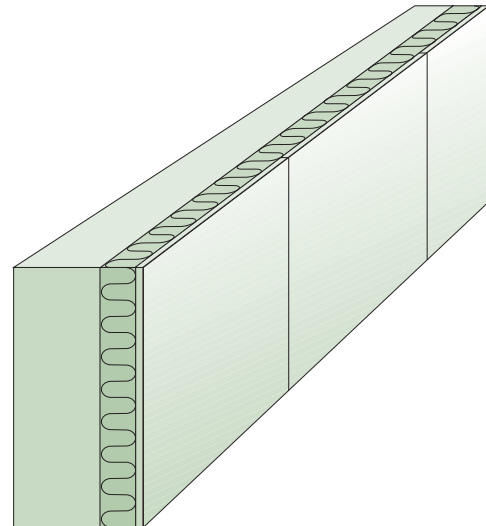
- Ohutpinnoite
- siporex-elementti pystyyn tai vaakaan
- mineraalivilla ja koolaus
- rakennuslevy
- vaihtoehtoisesti PU-sisävuorauslevy.

Siporex-tuote

- Elementtiseinä 300 mm, laatu 450 kg/m³, mineraalivilla 50 mm
- Elementtiseinä 250 mm, laatu 450 kg/m³, PU-sisävuorauslevy 63 mm

U-arvo

- U = 0,26 W/m²K**
- U = 0,24 W/m²K**



Kuva G 20.

31.2 Puolilämmin tila tai rakennus

Katto. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tase-laskelmissa $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Katso myös seuraavan kappaleen 32 esimerkkilaskelma 32.6.

Kattorakenne 1. Kuva G 21

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- siporex-kattoelementti
- höyryä läpäisevä pinnoite.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 300 mm tai 375 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 .

U-arvo

Kattoelementti 300 mm + bitumikermi, $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
Kattoelementti 375 mm + bitumikermi, $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 2. Kuva G 22

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- siporex-huovanaluselementit 68 mm
- tuuletusrako 100 mm, jossa siporex-korokepalat
- siporex-elementti
- pintakäsittely, tiivis.

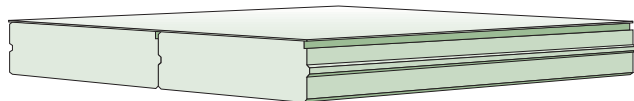
Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 300 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 .

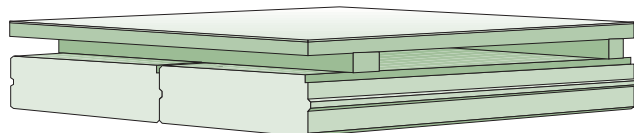
U-arvo

$U = 0,30\text{-}0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ riippuen katon tuuletuksen voimakkuudesta.

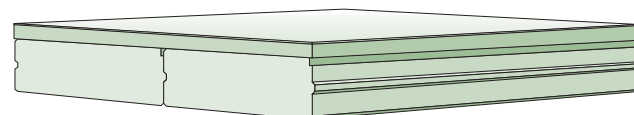
Huom! Kunnollinen tuuletus järjestettävä.



Kuva G 21.



Kuva G 22.



Kuva G 23.

Välipohja, vaatimus $U \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, jos puolilämmin tila rajoittuu lämpimään tilaan.

Välipohjarakenne 1. Kuva G 23

- Lattianpäällyste
- taseusbetoni
- siporex-elementti
- höyryä läpäisevä pinnoite.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu 450 kg/m^3 , paitsi kuormaluokka 4,0 laadusta 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo (siporex laatu 450)

$U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tase-laskelmissa $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä rakenne 1. Kuva G 24

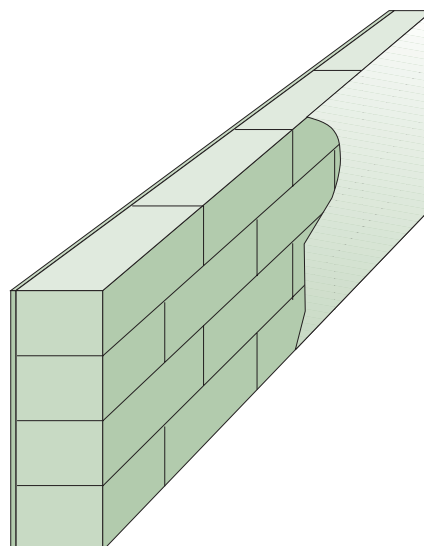
- Ohutpinnoite
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite.

Siporex-tuote

- Harkot 375 mm , laatu 400 kg/m^3
- Harkot 300 mm , laatu 450 kg/m^3
- Harkot 250 mm , laatu 450 kg/m^3

U-arvot

- $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 24.

31.3 Lämmin teollisuusrakennus

Katto. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tase-laskelmissa $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 1. Kuva G 25

- Vedeneriste, kattokaltevuuuden mukaan
- siporex-elementti
- höyryä läpäisevä pinnoite tai ei pintakäsittelyä.

Siporex-tuote

- a) Kattoelementti, paksuus 300 mm, laatu 450 kg/m^3 .
- b) Kattoelementti, paksuus 375 mm, laatu 450 kg/m^3 .

U-arvo

- a) $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- b) $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 2. Kuva G 26

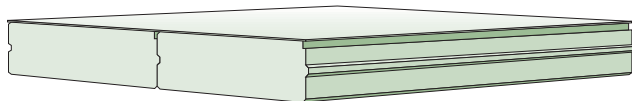
- Vedeneriste kattokaltevuuuden mukaan
- al-pintainen PU-levy tai kova mineraalivilla
- höyrynsulku
- siporex-kattoelementti
- vesihöyryä läpäisevä pinnoite.

Siporex-tuote

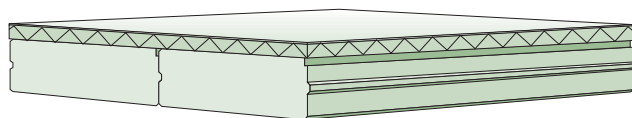
Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 , kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.
Kattoelementti, paksuus 300 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 .

U-arvo (siporex laatu 450)

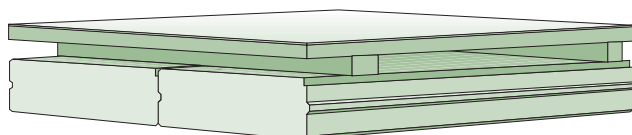
- Siporex 250 + min.villa 50 ($\lambda_n = 0,037$),
U-arvo = $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
Siporex 250 + min.villa 100 ($\lambda_n = 0,037$),
U-arvo = $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
Siporex 250 + min.villa 150 ($\lambda_n = 0,037$),
U-arvo = $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
Siporex 250 + PU-levy 100 ($\lambda_n = 0,024$),
U-arvo = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 25.



Kuva G 26.



Kuva G 27.

Siporex 300 + min.villa 125 ($\lambda_n = 0,037$),
U-arvo = $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Siporex 300 + PU-levy 90 ($\lambda_n = 0,027$),
U-arvo = $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 3. Kuva G 27

- Vedeneriste kattokaltevuuuden mukaan
- siporex-huovanaluselementit 68 mm
- tuuletusrako 200 mm
- tuuletusraossa 120 mm mineraalivilla
- siporex-elementti
- pintakäsittely, tiivis.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m^3 , kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m^3 , kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo

U = $0,18-0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ riippuen katon tuuletuksen voimakkuudesta.
Huom! Kunnollinen tuuletus järjestettävä.

Seinä. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tase-laskelmissa $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Seinä rakenne 1. Kuva G 28

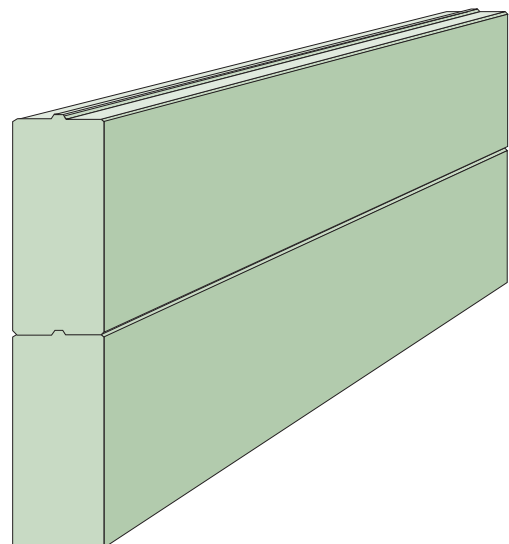
- Ohutpinnoite
- siporex-elementti pystyyn tai vaakaan
- sisäpuolen mahdollinen pintakäsittely

Siporex-tuote

- a) Seinäelementti, paksuus 300 mm, laatu 450 kg/m^3 .
- b) Seinäelementti, paksuus 375 mm, laatu 450 kg/m^3 .
- c) Seinäelementti, paksuus 300 mm, laatu 400 kg/m^3 .
- d) Seinäelementti, paksuus 375 mm, laatu 400 kg/m^3 .

U-arvo

- a) $U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$
- b) $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
- c) $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$
- d) $U = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 28.

Seinärakenne 2. Kuva G 29

- Ohutpinnoite
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite + sisäpinta.

Siporex-tuote

Harkot, paksuus 375 mm, laatu 400 kg/m³

U-arvo

a) $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

3.1.4 Puolilämmin teollisuusrakennus

Katto. Perusratkaisu lämpöhäviöiden taseuslaskelmissa $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kattorakenne 1. Kuva G 30

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- siporex-elementti.

Siporex-tuote

a) Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu 450 kg/m³, paitsi kuormaluokka 4,0 laadusta 500 kg/m³, kun $L > 51\text{M}$.

b) Kattoelementti, paksuus 300 mm, laatu 450 kg/m³

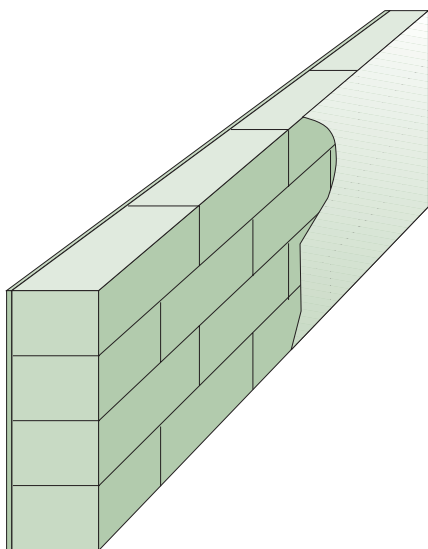
c) Kattoelementti, paksuus 375 mm, laatu 450 kg/m³

U-arvo

a) $U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

c) $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 29.

Kattorakenne 2. Kuva G 31

- Vedeneriste kattokaltevuuden mukaan
- siporex-kattolankut 70 mm
- tuuletusrako 100 mm
- siporex-elementti
- pintakäsittely, tiivis.

Siporex-tuote

Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu yleensä 450 kg/m³, kuormaluokka 4.0 laatua 500 kg/m³, kun $L > 51\text{M}$.

U-arvo

$U = 0,42\text{--}0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ riippuen katon tuuletuksen voimakkuudesta.

Huom! Kunnollinen tuuletus järjestettävä.

Välipohja. Eristävyysvaatimus $U \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, jos puolilämmin tila rajoittuu lämpimään tilaan.

Välipohjarakenne 1. Kuva G 32

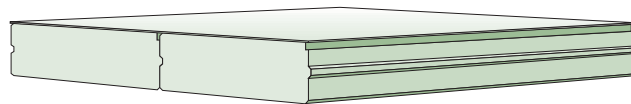
- Lattianpäällyste
- tasausbetoni
- siporex-elementti
- höyryä läpäisevä pinnoite.

Siporex-tuote

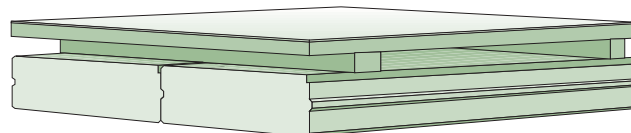
Kattoelementti, paksuus 250 mm, laatu 450 kg/m³, paitsi kuormaluokka 4,0 laadusta 500 kg/m³, kun $L > 51\text{M}$

U-arvo

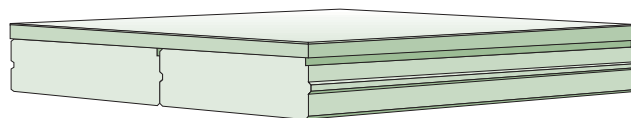
$U = 0,43\text{--}0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ (laatu 450 kg/m³)



Kuva G 30.



Kuva G 31.



Kuva G 32.

Ulkoseinä. Perusratkaisu lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä rakenne 1. Kuva G 33

- Ohutpinnoite
- siporex-elementit vaaka- tai pystysuuntaan.

Siporex-tuote

- Elementit 300 mm, laatu 450 kg/m^3 .
- Elementit 250 mm, laatu 450 kg/m^3 .

U-arvot

- $U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä rakenne 2. Kuva G 34

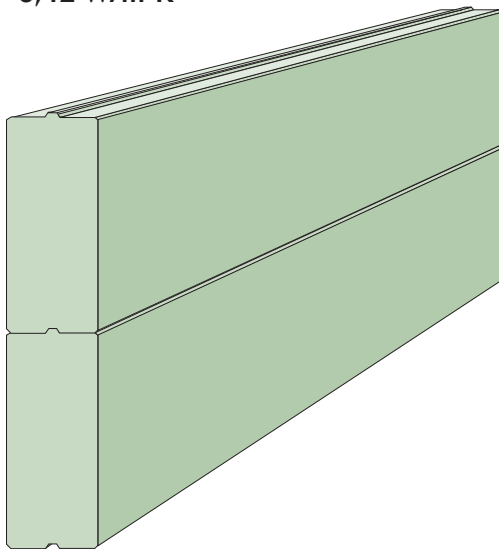
- Ohutpinnoite
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite.

Siporex-tuote

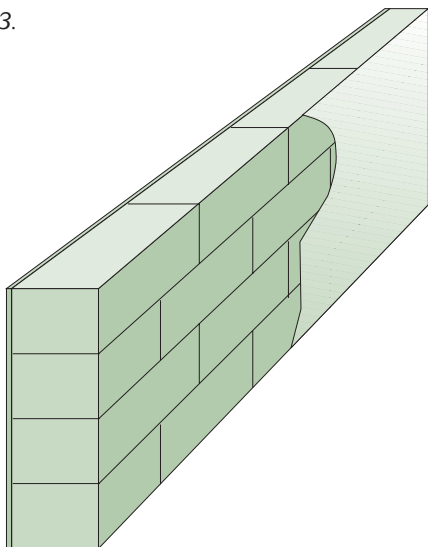
- Harkot 375 mm, laatu 400 kg/m^3 , tai
- Harkot 300 mm, laatu 450 kg/m^3

U-arvot

- $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 33.



Kuva G 34.

Väliseinä, vaatimus $U \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, jos puolilämmin tila rajoittuu lämpimään tilaan

Väliseinä rakenne 1. Kuva G 35

- Ohutpinnoite
- siporex-elementit vaaka- tai pystysuuntaan.

Siporex-tuote

- Elementit 300 mm, laatu 450 kg/m^3 .
- Elementit 250 mm, laatu 450 kg/m^3 .

U-arvot

- $U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$

Väliseinä rakenne 2. Kuva G 36

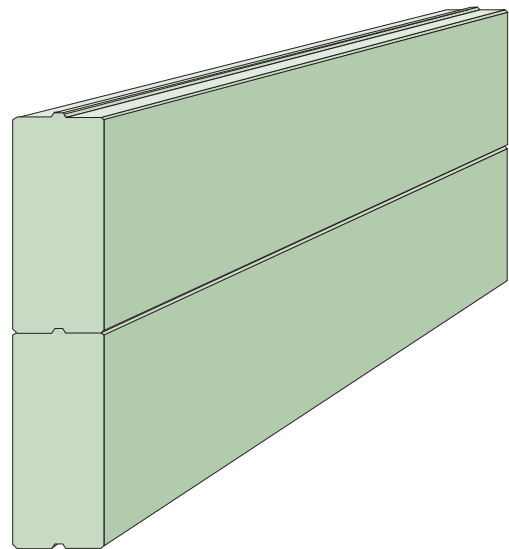
- Ohutpinnoite
- siporex-harkko, ohutsaumalaasti
- tasoite.

Siporex-tuote

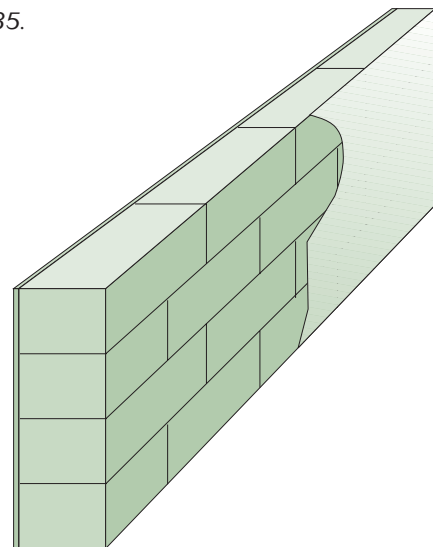
Harkot 300 mm, laatu 450 kg/m^3

U-arvo

$U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$



Kuva G 35.



Kuva G 36.

32.1 Rakennuksen johtumislämpöhäviöt

Käyttöolosuhteiden mukaisesti rakennusten tilat voivat olla lämpimiä, puolilämpimiä tai lämmittämättömiä. Uudet 01.10.2003 voimaan astuneet määräykset eivät tee erikseen jakoa esim. asuinrakennusten ja teollisuuden rakennusten välille, vain oletettu sisäilman käyttölämpötila ratkaisee eristävyysvaatimuksen.

Rakentamismääräyskokoelman osassa C3 on esitetty lämpimien ja puolilämpimien rakennusten ulkovaipan osille lämpötalouseläskelmissä käytettävät lämmönläpisevyyksien eli U-arvojen oletusarvot. Samoin esitetään mm. rajoituksia ikkunoiden maksimipinta-aloille. Tässä käsikirjassa ei perehdytä kaikkiin C3 ja C4 mukaisiin yksityiskohtiin. Tarkemmat laskentaohjeet antaa esim. Ympäristöministeriön "Ympäristöopas 106".

Rakennuksen energiataloudellinen hyväksyminen saatetaan periaatteessa kolmella mahdollisella tavalla.

- 1) Jokainen rakenneosia sellaisenaan täyttää C3:ssa rakennustyyppin rakenneosille asetetut U-arvoaati-mukset. Lisäksi edellytetään, että rakennus on varustettu minimitehoiltaan vähintään D2:n vaatimus-ten mukaisella lämmön talteenottolaitteistolla, jonka ohjeiden mukaisesti laskettu vuosihyötysuhde on vähintään 30%.
- 2) Rakenneosien U-arvot voivat poiketa C3:ssa esite-tyistä vaatimusrajoista, kunhan rakennuksen vaipan eri osien johtumislämpöhäviöiden summa ei ylitä mitoiltaan vastaavan ja U-arvoiltaan juuri C3:n vaatimusten mukaisen ns. vertailurakennuksen johtumislämpöhäviöitä. Myös edellisen kohdan mukainen lämmön talteenoton vaatimus on voimassa. Yksittäisen rakenneosan U-arvo saa olla maksimissaan 0,6, ja lämpimän tilan ikkunoilla 1,8 sekä puolilämpimän 2,8 kunhan vaipan johtumislämpöhäviö kokonaisuudessaan pysyy vertailurakennuksen mukaisissa rajoissa.
- 3) Vaipan johtumislämpöhäviö voi myös korkeintaan kymmenellä prosentilla ylittää vertailurakennuksesta edellisen kohdan mukaisesti lasketun arvon. Tällöin ylitys on C3:n ohjeita noudattaen säästettävä takaisin minimivaatimusta parempaa lämmön tal-

teenottoa käyttäen. Edellisen kohdan mukaiset vaipan osan ja ikkunoiden suurimmat sallitut U-arvot pätevät edelleen.

Seuraavissa kappaleissa on esimerkkejä asuinrakennusten ja hallien energiäläskelmistä kohtien 2 ja 3 mukaisesti. Käytännössä laskelmat ja eri rakenneosien vai- kutuksen vertailu on helppoa suorittaa laskentataulukolla, josta kaikki laskutoimitukset ovat suoraan nähtävissä.

32.2 Esimerkki pientalon johtumislämpöhäviöläskelmasta

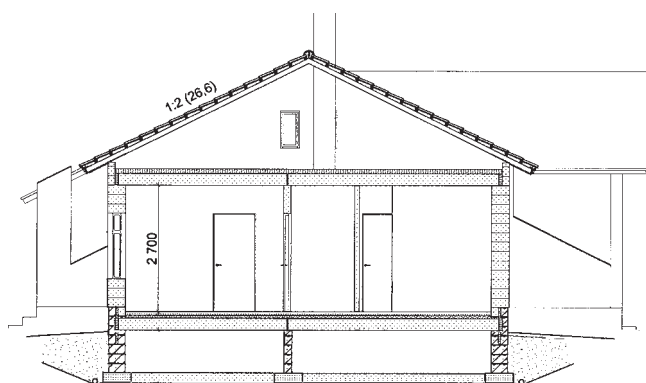
Otetaan tarkasteltavaksi sivujen D45-D47 mallipiirustuk- sissa esitetty yksikerroksinen omakotitalo, jonka ulko- seinät ovat 375 mm paksuja massiiviharkkoja. Talon kerrosala on 118,5 m². Pinta-aläläskelmat suoritetaan Ympäristöopas 106:n mukaisesti sisämittoja käyttäen. Tällöin ylä- ja alapohjan pinta-alat laskelmissa ovat 101,7 m² ja ulkoseinän 97,0 m² ikkunat ja ovet vähennettynä.

Vertailuläskelmassa korjataan alapohjan johtumishä- viötä ryömintätilaan kertomalla sekä toteutettavan että vertailutalon U- arvot luvulla 0,8, kun tuuletusaukkoja on max. 0,8 % lattia-alasta. (Ympäristöopas 106 ja D5) Taloon valitaan rakenneosat, joiden U-arvot ovat seuraavat: (suluissa Rak. MK C3:n vaatimusten mukaiset U-arvot, joita käytetään vertailuläskelmassa.)

- alapohja
101,7 m²/250 mm siporex + 80 mm polyuretaani + 70 mm pintalaatta U=0,19 W/m²K x 0,8 = 0,152 (0,20 W/m²K x 0,8 = 0,16)
- ulkoseinä
97 m²/375 mm harkkoseinä U=0,28 W/m²K (0,25 W/m²K)
- ikkunat
MSE selektiivilasein U=1,20 W/m²K (1,40 W/m²K)
- ovet
umpiosat/PU-eristys U=0,50 W/m²K (1,40 W/m²K)
- ovet
ikkunaosat U=1,4 W/m²K (1,4 W/m²K)
- kattorakenne
250 mm siporex + mineraalivilla (λ = 0,041) 160 mm U=0,16 W/m²K (0,16 W/m²K)
- Rakennuksen ilmanvaihto on varustettu lämmön tal- teenotolla, jonka nimellishyötysuhde on vähintään 50 %.

Läskentaperiaate

Tarkastellaan johtumislämpöhäviötä yhden asteen läm- pötilaeroa kohti $\dot{Q} = \sum A \times U$
A = rakenneosan pinta-ala
U = rakenneosan U-arvo



Massiivirakenteinen siporex-pientalo.

Vaipan johtumislämpöhäviö rakenneosien U-arvoilla
Lasketaan taulukkoon G10 rakennukseen valituilla rakenteilla saatava vaipan johtumislämpöhäviö sekä rinnalle vaatimuksen mukaisilla rakenteilla saatavat johtumislämpöhäviöt.

Vaatimustason mukainen johtumislämpöhäviöiden summa

$$\Sigma \dot{Q}_{\text{vaad.}} = 81,3 \text{ W/K}$$

Vertailu

$$\Sigma \dot{Q}_{\text{rak.}} = 77,6 \text{ W/K} < \Sigma \dot{Q}_{\text{vaad.}} = 81,3 \text{ W/K}$$

Valittujen rakenneosien mukaisesti laskettu vaipan johtumislämpöhäviöiden määrä on pienempi kuin sallittu johtumislämpöhäviöiden yläraja. (Rak. MK C3, kohta 3.3.1.)

Samoin rakennuksen seinien, ylä- ja alapohjan kaikkien osien U-arvot ovat pienemmät kuin 0,6 W/m²K (Rak. MK C3, kohta 3.3.2.)

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto täyttää Rakentamääräyskokoelman osassa D2 esitetyn nimellishyötysuhteen minimivaatimuksen 50 %.

Johtopäätös

Tutkittu rakennus täyttää Suomen Rakentamääräyskokoelman julkaisussa C3, "Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2003", lämmöneristävyydelle asetetut vaatimukset.

32.3 Lämmön talteenotto mukana pientalon johtumislämpöhäviölaskelma

Kun lämmön talteenoton nimellishyötysuhde on parempi kuin vaadittu minimi 50 %, voidaan Rakentamääräyskokoelman ohjeiden mukaisesti minimin ylittävällä hyötysuhteella säästettävästä vuotuisesta tuuletusilman lämmitysenergiasta 60% käyttää hyväksyttävyyssuhteissa pienentämään rakennuksen vaipan laskettua johtumislämpöhäviötä. Tämä sallitaan silloin, kun lämpövirran rakennuksen vaipan lävitse lasketaan olevan korkeintaan 10 % suurempi kuin "vertailutalolle" laskettu johtumislämpöhäviö. Laskennassa verrataan vaipan johtumislämpöhäviön ja minimivaatimusta paremmalla lämmön talteenottolaitteistolla varustetun ilmanvaihdon lämpöhäviön summaa "normaalivaipan" ja "normaali-ilmastoinnin" lämpöhäviöiden summaan. Normaali-ilmastoinnista osaltaan oletetaan voitavan vuosihyötysuhteena säästää 60 % nimellishyötysuhteesta, jonka pienin sallittu arvo on 50 %. Täten loput eli 100 % - 0,6 x 50 % = 70 % vuotuisesta tuuletusilman lämmityksestä lasketaan mukaan lämpöhäviölaskelmiin. Seuraavassa esimerkissä on taulukkossa G11 käsitelty edellisen esimerkin pinta-alojen mukaista hieinan rakenteiltaan erilaista rakennusta, jossa rakenteiden johtumislämpöhäviöitä korjataan lämmön talteenotolla.

Taulukko G10

	Toteutettava rakennus		Vertailurakennus	
	U-arvo	U x A	U-arvo	U x A
Alapohja, ryömintätilalla 101,7 m ²	0,152 W/m ² K	15,46 W/K	0,16 W/m ² K	16,27 W/K
Harkkoseinät (aukot vähennettyinä) 97,0 m ²	0,28 W/m ² K	27,16 W/K	0,25 W/m ² K	24,25 W/K
Ikkunat 11,8 m ²	1,20 W/m ² K	14,16 W/K	1,40 W/m ² K	16,52 W/K
Ulko-ovet, umpiosuus 3,8 m ²	0,50 W/m ² K	1,90 W/K	1,40 W/m ² K	5,32 W/K
Ulko-ovet, lasiosuus 1,9 m ²	1,40 W/m ² K	2,66 W/K	1,40 W/m ² K	2,66 W/K
Yläpohja 101,7 m ²	0,16 W/m ² K	16,27 W/K	0,16 W/m ² K	16,27 W/K
Vaipan johtumislämpöhäviöiden summa		77,61 W/K		81,29 W/K

Taulukko G11

Rakenneosa ja pinta-ala	Toteutettava rakennus		Vertailurakennus	
	U-arvo	A x U	U-arvo	A x U
Alapohja 101,7 m ²	0,20 W/m ² K	16,27 W/K ¹⁾	0,20 W/m ² K	16,27 W/K ¹⁾
Harkkoseinät 97,0 m ²	0,28 W/m ² K	27,16 W/K	0,25 W/m ² K	24,25 W/K
Ikkunat 11,8 m ²	1,20 W/m ² K	14,16 W/K	1,40 W/m ² K	16,52 W/K
Ulko-ovet, umpiosuus 3,8 m ²	0,70 W/m ² K	2,66 W/K	1,40 W/m ² K	5,32 W/K
Ulko-ovet, lasiosuus 1,9 m ²	1,40 W/m ² K	2,66 W/K	1,40 W/m ² K	2,66 W/K
Yläpohja 101,7 m ²	0,22 W/m ² K	22,37 W/K	0,16 W/m ² K	16,27 W/K
Johtumislämpöhäviöiden summa		85,28 W/K		81,29 W/K

¹⁾ Laskelmassa on U-arvo kerrottu luvulla 0,8.

Ylitys: $85,28 - 81,29 = 3,99 \text{ W/K} \Rightarrow 4,0 \text{ W/K}$

$100 \times (85,28 - 81,29) / 81,29 = 4,9 \%$ ylitys, pysyy 10 % rajoissa. Millainen lämmön talteenotto tarvitaan?

Oletetaan rakennuksen lämpimäksi tilavuudeksi 270 m^3 . Kun suositeltava minimi-ilmanvaihto on 1/2 tilavuutta tunnissa, saadaan vaihdoksi sekunnissa $0,5 \times 270 / 3600 = 0,0375 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kun ilmanvaihdon määrä tunnetaan, saadaan lämpöhäviö kaavasta

$$G_i = 1,2 \times 1000 \times q_v \times (1 - \eta)$$

missä:

G_i = lämpöhäviö lämpötilaeron yksikköä kohti

1,2 = ilman tiheys kg/m^3

1000 = ilman ominaislämpökapasiteetti J/kgK

q_v = ilmavirta m^3/s

η = poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde laskettuna C3:n mukaan 60%:na nimellishyötysuhteesta. (Jos tarkempia laskelmia ei tehdä.)

Lämmön talteenottolaitteiston toimiessa vaaditulla 30 % minimivuosityötysuhteella tuuletusilman lämmitykseen kuluu yhden asteen lämpötilaeroa kohti:

$$G_i = 1,2 \times 1000 \times 0,0375 \times (1 - 0,3) = 31,5 \text{ W/K}$$

Arvoa 31,5 W/K pitäisi pienentää vaipassa syntyvän ylityksen 4,0 W/K verran, jotta kokonaislämpöhäviö pysyisi vaadittuna. Ratkaistaan vuosihyötysuhde η kaavasta.

$$\eta = 1 - G_i / (1,2 \times 1000 \times 0,0375)$$

$$\text{Vaadittava } G_i = 31,5 - 4,0 = 27,5$$

$$\eta = 1 - 27,5 / (1,2 \times 1000 \times 0,0375)$$

$$\eta = 1 - 0,611 = 0,389$$

Tarvittava nimellishyötysuhde = $0,389 / 0,6 = 0,648 \Rightarrow 65 \%$.

Valitaan lämmön talteenottolaitteiston nimellishyötysuhteeksi 70 %.

Vuosihyötysuhteena saadaan ilman tarkempia laskelmia käyttää $0,6 \times 70 \% = 42 \%$. Tällöin tuuletusilman lämmitykseen asteen lämpötilaeroa kohti kuluu:

$$100 \% - 42 \% = 58 \% \Rightarrow G = 1,2 \times 1000 \times 0,0375 \times 0,58 = 26,1 \text{ W/K}$$

Tarkistus

	Vaippa	Ilmanvaihto	Yhteensä
Vertailutalo	81,3 W/K	31,5 W/K	112,8 W/K
Toteutettava	85,3 W/K	26,1 W/K	111,4 W/K

Johtopäätös

Toteutettavan rakennuksen vaipan ja ilmanvaihdon kokonaislämpöhäviö 111,4 W/K on pienempi kuin Rakentamismääräyskokoelman C3- ja D2- julkaisujen mukaisen referenssirakennuksen 112,8 W/K. Toteutettava rakennus täyttää C3 ja D2 mukaiset energiavaatimukset.

32.4 Esimerkki hallirakennuksen johtumislämpöhäviö-laskelmasta

Lämpimän teollisuuden tai kaupan hallirakennuksen suhteen ovat voimassa samat vaipan lämmöneristävyyden vaatimukset kuin muidenkin lämpimien rakennusten suhteen. Verrattuna aikaisempiin vaatimuksiin on laskennollisten U-arvojen kiristyminen ollut suurin juuri näillä rakennuksilla. Esimerkiksi yläpohjan vaatimus on kiristynyt 56 % ja seinien 44 %.

Käsitellään laskentaesimerkinä noin 1000 m^2 :n lämmintä hallirakennusta. Sen vaipan rakenteet ovat seuraavassa luetellun mukaiset. Vaipan pinta-alat on laskettu Rakentamismääräyskokoelmaan liittyvän Ympäristöopas 106:n "Energiamääräykset 2003"-ohjeita noudattaen sisämittojen mukaisesti.

- Yläpohja 1000 m^2
250 mm siporex, $\delta = 450$ plus mineraalivilla 150 mm, $U = 0,16$
- Seinät 800 m^2
375 mm siporex-elementit, $\delta = 450$, $U = 0,32$
- Ikkunat 60 m^2
2-lasinen umpio, selektiivilasi, $U = 1,4$
- Ovet 32 m^2
käyntiovet 2 kpl ja 2 kpl $3,5 \times 4 \text{ m}$ liukuovia, kaikissa $U = 0,7$
- Alapohja 1000 m^2
maanvarainen, lisäeristys EPS 50 mm, keskim. $U = 0,25$

Verrataan toteutettavan rakennuksen vaipan kokonaislämpöhäviötä vertailutalon vaipan kokonaislämpöhäviöön taulukossa G12.

Taulukko G12

Rakenneosa ja pinta-ala	Toteutettava rakennus		Vertailurakennus	
	U-arvo	A x U	U-arvo	A x U
Yläpohja 1000 m^2	0,16 W/m ² K	160 W/K	0,16 W/m ² K	160 W/K
Elementtiseinät 800 m^2	0,32 W/m ² K	256,0 W/K	0,25 W/m ² K	200 W/K
Ikkunat 60 m^2	1,40 W/m ² K	84,0 W/K	1,40 W/m ² K	84 W/K
Ulko-ovet, umpiosuus 32 m^2	0,70 W/m ² K	22,4 W/K	1,40 W/m ² K	44,8 W/K
Alapohja 1000 m^2	0,25 W/m ² K	250,0 W/K	0,25 W/m ² K	250 W/K
Johtumislämpöhäviöiden summa		772,4 W/K		738,8 W/K

Ylitys: $772,4 - 738,8 = 33,6 \text{ W/K}$

$100 \times (33,6/772,4) = 4,4 \%$ ylitys on alle 10% , joten se voidaan kompensoida minimivaatimusta paremmalla lämmön talteenottolaitteistolla. Katsotaan mikä laitteiston vuosihyötysuhde riittää.

Rakennuksen lämmin tilavuus on noin 6150 m^3 ja lattian ala noin 1000 m^2 . Rakennus on teollisuushalli, minimi-ilmanvaihto D2:n mukaan $1,5 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$. Täten saadaan vaihdoksi sekunnissa $1000\text{m}^2 \times 1,5 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s} = 1,500 \text{ m}^3/\text{s}$ hallin käyttöaikana. Käyttöajan ulkopuolella ilmavirraksi oletetaan $0,15 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$. Yksivuorotyön mukaan laskien saadaan keskimääräiseksi jatkuvaksi ilmanvaihdoksi $0,15 + (1,5-0,15) \times (8/24) \times (5/7) = 0,471 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kun ilmanvaihdon määrä tunnetaan, saadaan lämpöhäviö kaavasta

$$G_i = 1,2 \times 1000 \times q_v \times (1 - \eta)$$

missä:

G_i = lämpöhäviö lämpötilaeron yksikköä kohti

$1,2$ = ilman tiheys kg/m^3

1001 = ilman ominaislämpökapasiteetti J/kgK

q = ilmavirta m^3/s

η = poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde laskettuna C3:n mukaan 60% :na nimellishyötysuhteesta.

Pienimmällä sallitulla 30% vuosihyötysuhteella ilman lämmitykseen kuluu:

$$G_i = 1,2 \times 1000 \times 0,471 \times (1 - 0,3) = 395,6 \text{ W/K}$$

Arvoa $395,6 \text{ W/K}$ pitäisi tässä tapauksessa pienentää vaipassa syntyvän ylityksen $33,6 \text{ W/K}$ verran, jotta kokonaislämpöhäviö pysyisi vaadittuna. Ratkaistaan vuosihyötysuhde η kaavasta.

$$\eta = 1 - G_i / 1,2 \times 1000 \times 0,471$$

$$\text{Vaadittava } G_i = 395,6 - 33,6 = 362,0$$

$$\eta = 1 - 362,0 / 1,2 \times 1000 \times 0,471$$

$$\eta = 1 - 0,640 = 0,360$$

Tarvittava vuosihyötysuhde on siis 36% .

Tarvittava nimellishyötysuhde laskettuna C3:n kohdan 3.4.2 yksinkertaisen ohjeen mukaisesti $\eta_{\text{nim}} = 0,360/0,60 = 0,60 \Rightarrow 60 \%$.

Valitaan lämmön talteenoton nimellishyötysuhteeksi 65% .

Vuosihyötysuhteena saadaan käyttää $0,6 \times 65 \% = 39 \%$. Tällöin tuuletusilman lämmitykseen kuluu $100 \% - 39 \% = 61 \% \Rightarrow G = 1,2 \times 1000 \times 0,471 \times 0,61 = 344,8 \text{ W/K}$.

Tarkistus

	Vaippa	Ilmanvaihto	Yhteensä
Toteutettava	772,4 W/K	344,8 W/K	1117 W/K
Vert. rakennus	738,8 W/K	395,6 W/K	1134 W/K

Johtopäätös

Toteutettavan rakennuksen vaipan ja ilmanvaihdon kokonaislämpöhäviö 1117 W/K on pienempi kuin Rakentamismääräyskokoelman C3- ja D2- julkaisujen mukaisesti lasketun vertailurakennuksen vastaava kokonaislämpöhäviö 1134 W/K . Toteutettava rakennus täyttää C3 ja D2 mukaiset energiavaatimukset.

32.5 Esimerkki puolilämpimän hallirakennuksen johtumislämpöhäviölaskelmasta

Käsitellään laskentaesimerkkinä edellisen lämpimän hallin kaltaista noin 1000 m^2 :n hallirakennusta. Sen vaipan rakenteet ovat seuraavassa luetellun mukaiset. Vaipan pinta-ala on laskettu Rakentamismääräyskokoelmaan liittyvän Ympäristöoppaan "Energiamääräykset 2003"- ohjeita noudattaen sisämittojen mukaisesti.

- Yläpohja 1000 m^2
300 mm siporex, $\delta = 450$, $U = 0,35$
 - Seinät 800 m^2
300 mm siporex-elementit, $\delta = 450$, $U = 0,39$
 - Ikkunat 60 m^2
2-lasinen umpio, normaalilasi, $U = 2,1$
 - Ovet 32 m^2
käyntiovet 2 kpl ja 2 kpl $3,5 \times 4 \text{ m}$ liukuovia, kaikissa $U = 0,7$
 - Alapohja 1000 m^2
maanvar., soramaa, metrin reunakaistalla eristys EPS 50 mm, keskim. $U = 0,30$
- Verrataan toteutettavan rakennuksen vaipan rakenteiden mukaisesti laskettua kokonaislämpöhäviötä vaadittujen U-arvojen mukaan toteutetun vertailurakennuksen kokonaislämpöhäviöön taulukossa G 13.

Taulukko G13

Rakenneosa ja pinta-ala	Toteutettava rakennus		Vertailurakennus	
	U-arvo	A x U	U-arvo	A x U
Yläpohja 1000 m^2	0,35	350,0	0,30 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	300 W/K
Elementtiseinät 800 m^2	0,39	312,0	0,40 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	320 W/K
Ikkunat 60 m^2	2,10	126,0	1,80 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	108 W/K
Uilko-ovet, umpiosuus 32 m^2	0,70	22,4	1,40 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	44,8 W/K
Alapohja 1000 m^2	0,30	300,0	0,36 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	360 W/K
Johtumislämpöhäviöiden summa		1110,4 W/K		1133 W/K

Johtopäätös

Toteutettavan rakennuksen vaipan kokonaislämpöhäviö 1111 W/K on pienempi kuin Rakentamismääräyskokoelman C3 -julkaisun mukaisesti lasketun referenssirakennuksen vastaava kokonaislämpöhäviö 1133 W/K. Olettaen, että rakennukseen valittava lämmön talteenottojärjestelmä täyttää C3 ja D2:n asettaman minimivaatimuksen (vuosihyötysuhde 30%), toteutettava rakennus täyttää C3 ja D2 mukaiset energiatalousvaatimukset.

32.6 Kokonaistaloudellisuus ja energialaskelmat

Kohtien 32.2-32.6 laskuesimerkkien perusteella voimme todeta, että lämpötaloudeltaan hyväksyttävä ratkaisu voidaan toteutettavissa rakennuksissa saavuttaa hyvinkin monella eri tavalla. Lämmön talteenottoa hyödyntävä laajennettu tasauslaskenta antaa myös huomattavan lisänsä vaipan vaihtoehtomahdollisuuksien valintaan. Kun lämmön talteenottoa hyväksi käyttäen voidaan sallia kymmenen prosentin ylitys rakennuksen vaipan kokonaislämpöhäviöille, tämä antaa varsin hyvät mahdollisuudet valita esimerkiksi arkkitehtonisista syistä haluttu seinärakenne tai todella paloturvallinen rakenneratkaisu, vaikka yksittäisen rakenneosan U-arvo ylittäisikin rakenneosakohtaisen vaatimusrajan selvästi.

Parannetun eristävyuden keskittäminen tiettyihin rakenneosiin saattaa myös tuottaa rakennuskustannuksiltaan edullisemmän lopputuloksen.

Vanhojen hallirakennusten laajennukset voidaan esimerkiksi useimmissa tapauksissa tehdä arkkitehtuuriltaan vanhan mukaisiksi keskittämällä aikaisempiin ratkaisuihin nähden kasvanut lisäeristys kattoon, lattiin ja tarvittaessa ikkunoihin.

Vaipan seinä- ja katto-osien rakentaminen eri materiaaleista onnistuu kuten aikaisempinakin vuosina.

Siporex- kiviseinät sekä kevyt runko- ja kattorakenne ovat edelleen helposti toteutettavissa oleva ratkaisu, samoin siporex-seinät esimerkiksi pitkien jännevälkien kattoratkaisujen yhteydessä.