

Figure 1



# Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejoonised ja tüüpkorterite ventilatsioonilahendused

Targo Kalamees, Martin Thalfeldt, Heiki Meos, Margus Laas,  
Maksim Zelenski, Jarek Kurnitski, Eduard Diligentov, Larissa Bõkova

2015



## Eessõna

Käesoleva juhendmaterjali on koostanud Tallinna Tehnikaülikooli ehitiste projekteerimise instituut ja inseneribüroo EstKonsult OÜ ajavahemikul jaanuar kuni mai 2015 projekti „Sõlmejooniste ja ventilatsioonilahenduste koostamine“ raames.

Töö on tehtud Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuse KredEx tellimusel ja finantseerimisel. Uurimistöö juhtrühmas osalesid:

Triin Reinsalu, Kalle Kuusk Sihtasutusest KredEx

Villu Pella Tallinna Energiaagentuurist

Tallinna Tehnikaülikoolist osalesid töös:

Targo Kalamees, Martin Thalfeldt, Maksim Zelenski, Jarek Kurnitski, Simo Ilomets;

EstKonsult OÜ-st osalesid töös:

Heiki Meos, Margus Laas, Eduard Diligentov, Larissa Bõkova.

Teksti on keeleliselt toimetanud Silvi Seesmaa (Halo Kirjastus OÜ).

Viide:

Kalamees, T., Thalfeldt, M., Meos, H., Laas, M., Zelenski, M, Kurnitski, J., Diligentov, E., Bõkova, L. Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejoonised ja tüüporterite ventilatsioonilahendused. Tallinna Tehnikaülikool, Inseneribüroo EstKonsult OÜ. 2015.

Autoriõigused: autorid, 2015

Lihtlitsents isiklike autoriõiguste kasutamiseks: Sihtasutus KredEx

# Sisukord

<b>1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Välispiirete lisasoojustamine</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Korterelamute piirdetarindite tüüplahendused</b>	<b>7</b>
2.1.1	Raudbetoon-suurpaneelilamu piirdetarindite sõlmed	8
2.1.2	Telliskorterelamu	15
2.2	<b>Hoonepiirete lisasoojustamine</b>	<b>19</b>
2.2.1	Hoonepiirete soojuskad	19
2.2.2	Välispiirete soojusläbivus	20
2.2.3	Tarindite liitekohtade joon- ja punktsoojusläbivuse ning temperatuuriindeksi arvutus	24
2.2.4	Piirdetarindite lisasoojustamisega seotud aspektid	35
2.2.5	Niiskuskahjustuste vältimine	47
2.2.6	Fassaadi paigaldatud ventilatsioonitorude soojuskad	51
2.2.7	Renoveeritud lahenduste kestvus ja garantii	53
<b>3</b>	<b>Ventilatsioon</b>	<b>54</b>
3.1	<b>Korterelamute tüüpilised renoveerimislahendused</b>	<b>54</b>
3.2	<b>Ventilatsioonisüsteemi renoveerimise projekteerimine</b>	<b>55</b>
3.2.1	Õhuvooluhulkade arvutus	55
3.2.2	Ventilatsioonitorustiku lõppelementide valik	58
3.2.3	Ventilatsiooniseadme valik	60
3.3	<b>Ventilatsiooniseadmete- ja torude paiknemine</b>	<b>63</b>
3.3.1	Müraarvutus	71
3.3.2	Torustiku rõhulangude arvutus	77
3.3.3	Tuleohutus	82
<b>4</b>	<b>Kasutatud kirjandus</b>	<b>83</b>
<b>Lisad</b>	.	<b>85</b>



# 1 Sissejuhatus

2011. aasta rahva- ja eluruumide loenduse andmetel on 51% elamispinnast korterelamutes ja 48% ühepereelamutes ning muudes väikeelamutes. Veerandi korterelamute vanus on üle 50 aasta ja üle 60% korterelamutest on vanad juba rohkem kui 35 aastat, mistõttu vajavad hädasti korralist renoveerimist. Teine, võib-olla isegi olulisem renoveerimise põhjus on enne 1990-ndaid ehitatud korterelamute halb sisekliima, suur energiatarbimine ja vajakajäämised kvaliteedis (projektlahendus, materjalid, ehitustööd, hooldus). Eesti korterelamute ehitustehniline seisukord on dokumenteeritud mitmes uuringus:

- EKK (1994). Mustamäe suurelamute konstruksioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Ehituskonstrueerimise ja katsetuste AS;
- EstKonsult (1996). Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Inseneribüroo EstKonsult;
- Kalamees, T.; Õiger, K.; Kõiv, T.-A.; Liias, R.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Lehtla, A.; Kodi, G.; Luman, A.; Arumägi, E.; Mironova, J.; Peetrimägi, L.; Korpen, M.; Männiste, L.; Murman, P.; Hamburg, A.; Tali, M.; Seinre, E. (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga: uuringu lõppraport. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T.; Kõiv, T.-A.; Liias, R.; Õiger, K.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Ilomets, S.; Kuusk, K.; Maivel, M.; Mikola, A.; Klõšeiko, P.; Agasild, T.; Arumägi, E.; Liho, E.; Ojang, T.; Tuisk, T.; Raado, L.-M.; Jõesaar, T. (2010). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool;
- Paap, L., Hamburg, A., Hamburg, P., Kallavus, U., Peetrimägi, L. (2010). Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikaline olukord. Tallinna Tehnikakõrgkool;
- Kalamees, T.; Arumägi, E.; Just, A.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Thalfeldt, M.; Klõšeiko, P.; Agasild, T.; Liho, E.; Haug, P.; Tuurmann, K.; Liias, R.; Õiger, K.; Langeproon, P.; Orro, O.; Välja, L.; Suits, M.; Kodi, G.; Ilomets, S.; Alev, Ü.; Kurik, L. (2011). Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga: uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T.; Ilomets, S.; Liias, R.; Raado, L.-M.; Kuusk, K.; Maivel, M.; Ründva, M.; Klõšeiko, P.; Liho, E.; Paap, L.; Mikola, A.; Seinre, E.; Lill, I.; Soekov, E.; Paadam, K.; Ojamäe, L.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Kõiv, T.-A. (2012). Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord – ajavahemikul 1990-2010 kasutusele võetud korterelamud: uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T.; Kõiv, T.-A.; Ilomets, S.; Mikola, A.; Link, S. (2014). Sõpruse pst 224 korterelamu renoveerimisjärgne uuring. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kõiv, T.-A.; Hamburg, A.; Mikola, A.; Kiil, M.; Tükia, A.; Rohula, T.; Silm, G., Palmiste, Ü. (2014). Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energიაaudititele. Tallinna Tehnikaülikool;
- ja mujal.

Uuringutes on selgelt välja toodud elamute möödapääsmatu renoveerimise vajadus nendes elavate inimeste tervise ja hoonete füüsilise säilimise huvides. Omaniku seisukohalt on korterelamu jooksev hooldus, tervikrenoveerimine oluliselt odavam ja keskkonnasäästlikum kui hoone lammutamine ja uusehitus. Samas ei saa mööda vaadata tõsiasjast, et ka lammutamise ja uusehitise lahendusi ja protsesse tuleb uurida. Siiski ei ole enamiku korterelamute olukord ei ehitustehnilisest ega kinnisvara väärtuse seisukohast nii halb, et need oleks vaja praegu lammutada.

Sihtasutuse KredExi pakutavad ning käendatavad renoveerimislaenud ja renoveerimistoetused on oluliseks abiks korter- ja väikeelamute renoveerimiseks ning nende energiatarbimise ja sisekliima parandamiseks. Terviklikult renoveeritud elamute arv on aasta-aastalt kasvanud. Kui 2010. aastal rekonstrueeriti 35%-se toetusega vaid 3%

korterelamutest, siis 2013. aastal rekonstrueeriti 62% (61% korterelamutest ja 62% netopinnast) (Lauri 2014).

2015. aasta kevadel käivitus uus renoveerimise toetuse programm ühistutele ja kohalikele omavalitsustele, kes soovivad rekonstrueerida korterelamuid võimalikult terviklikult. Toetust on võimalik taotleda 15%, 25% ja 40% ulatuses rekonstrueerimistöde kogumaksumusest sõltuvalt korterelamu rekonstrueerimise terviklikkuse tasemest.

Korterelamu tervikrenoveerimise õnnestumine eeldab hoone omanike valmisolekut, kvaliteetset ehitusprojekti, kvaliteetset ehitamist ja hoolikat projektijuhtimist ning järelevalvet.

Lisaks terviklikult renoveeritud korterelamute lahenduste ja toimimise dokumenteerimisele ning uuringule võiks renoveerimise kvaliteedi paranemisele kaasa aidata ka tüüpkorterelamute renoveerimise tüüplahendus.

Käesoleva töö eesmärk on koostada korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejooniste ja ventilatsiooni renoveerimislahenduste juhendmaterjal, mis lihtsustaks projekteerijatel korterelamute rekonstrueerimisprojektide koostamisel tehniliste lahenduste valimist. Uuring keskendub raudbetoon-suurpaneel- ja telliskorterelamutele kui kahele suurimale hoonete tüübile.

## 2 Välispiirete lisasoojustamine

### 2.1 Korterelamute piirdetarindite tüüplahendused

Elamuehituse industrialiseerimise perioodil 1960...1990 ehitati peamiselt tüüp-korterelamuid. Elamutüüpide projektid töötati välja Eestis või kasutati vennasvabariikide projektlahendusi. Esimeseks tüüpseeriaks olid Mustamäe elamud, ehitatud 1-464 tüüpprojekti järgi. Järgmiseks tüüpseeriaks on Õismäe-Lasnamäe elamud, mis on ehitatud 121 tüüpprojekti alusel. Seeriaga 121 püüti paremaks teha korterite planeeringut võrreldes seeriaga 464 – köögid suuremaks ja esikud avaramaks (Gritsenko 2009). Tartus ja Pärnus on levinuimad raudbetoon-suurpaneel elamud Tartu Elamuehituskombinaadi toodangu seeria 111 alusel. Virumaal ehitati palju VFNSV tüüpprojektide järgi. Samamoodi olid ka telliselamutel omad tüüplahendused, kuid lahenduste varieerumisvõimalusi oli oluliselt rohkem.

Vanemate korterelamute projektide analüüs ja ehitusuuringud on näidanud, et ehituslahenduste varieeruvus on väga suur ja enne hoone renoveerimise projekteerimist tuleb olemasolevate tarindite lahendused täpsustada konkreetse hoone projektist, selle hoonetüübi projektist ning kohapealsete uuringute ja mõõtmiste alusel (Joonis 2.1). Ehitusprojektidega saab tutvuda kohalike omavalitsuste arhiivides või Rahvusarhiivi uurimissaalides.

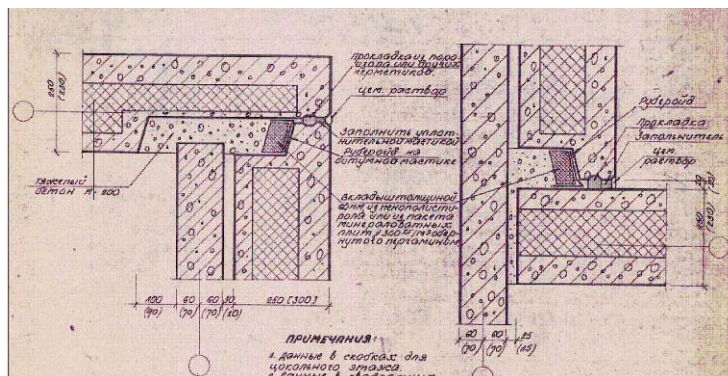
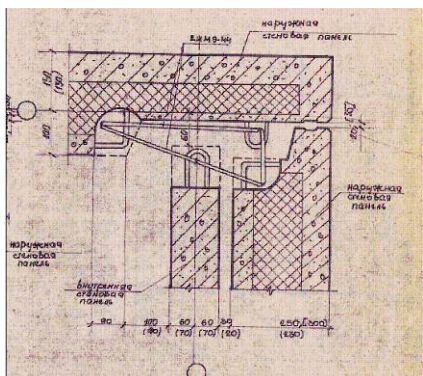


Joonis 2.1 Enne renoveerimislahenduse projekteerimist tuleb hoone piirdetarindite ja tehnosüsteemide lahendused täpsustada kohapealsete mõõtmistega.

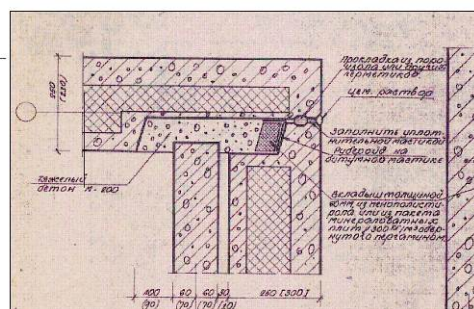
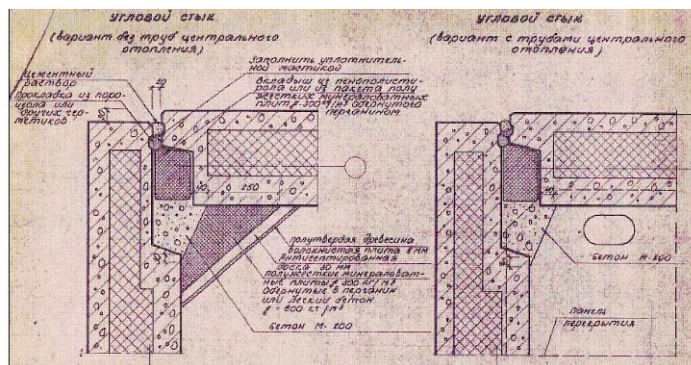


Järgnevalt on toodud projektiväljavõtteid enam levinud tüüphoonete piirdetarindite liitekohtade lahendustest (toodud lahendused ei ole lõplikud; rohkem lahendusi vaata hoonete projektdiest).

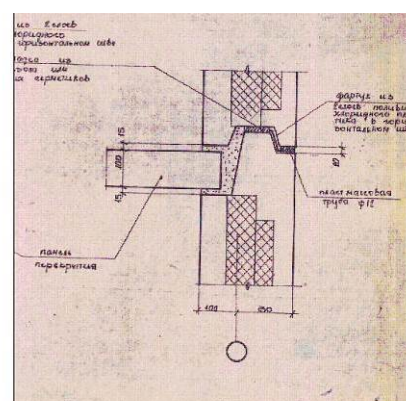
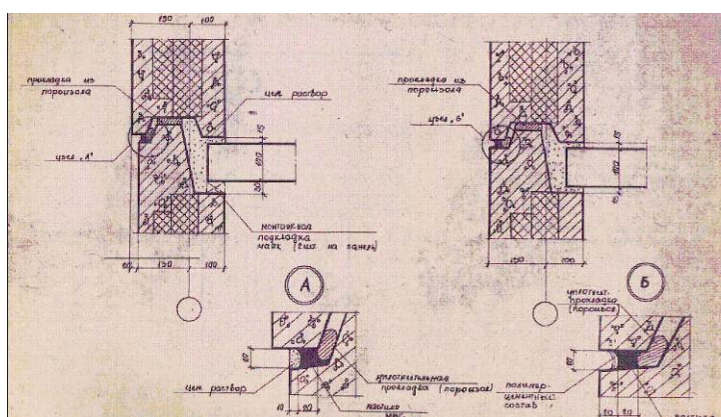
## 2.1.1 Raudbetoon-suurpaneelilamu piirdetarindite sõlmed



Joonis 2.2 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina välisnurk, M1:20 (1974).

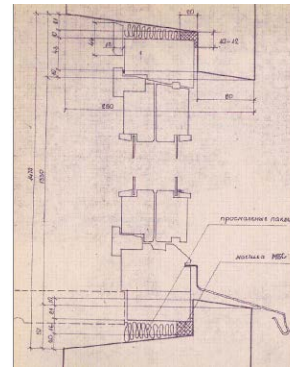
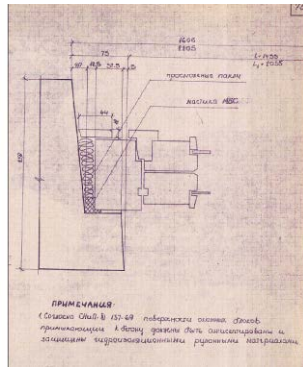


Joonis 2.3 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina välisnurk, M1:20 (1974).

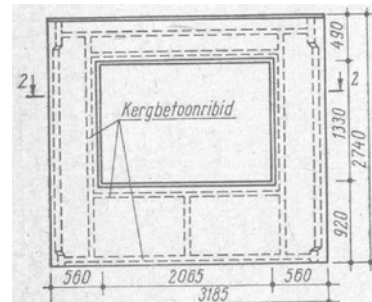
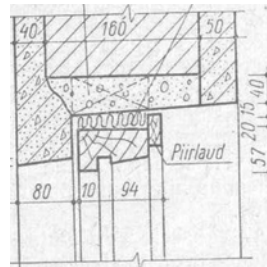
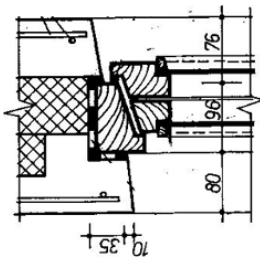


Joonis 2.4 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina (s.h. sokli) ja vahelae liitumiskoha sõlmed, M1:20 (1974).

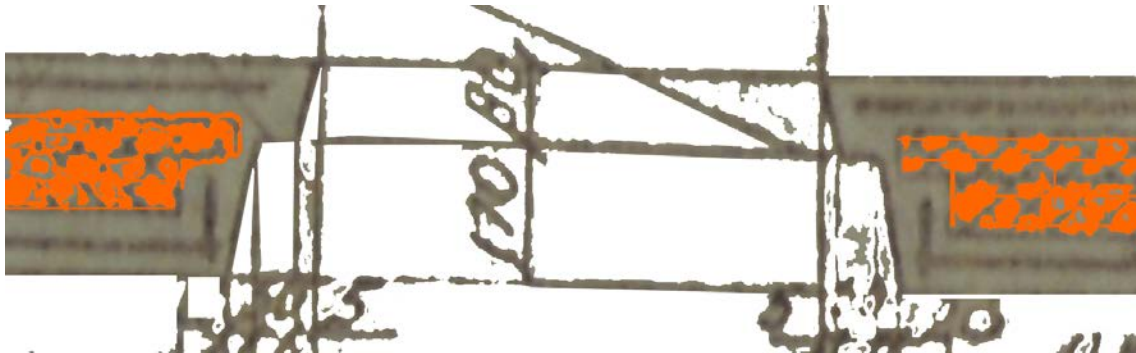




Joonis 2.5 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja akna liitumiskoht (horisontaallõige vasakul ja vertikaallõige paremal), M1:10 (1974).



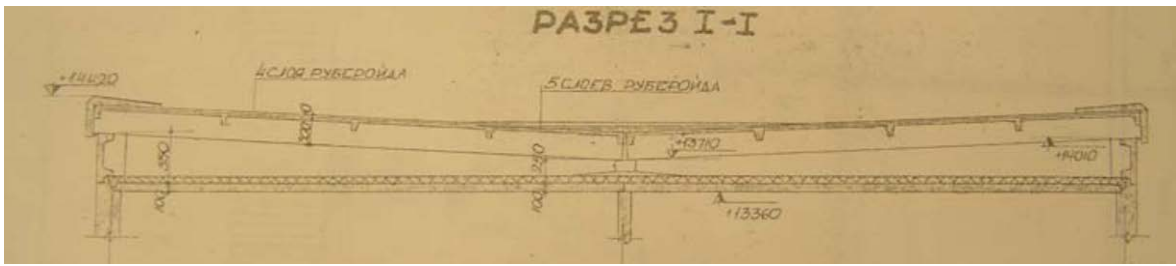
Joonis 2.6 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja akna liitumiskoht (valik sõlmi), M1:10 (1974).



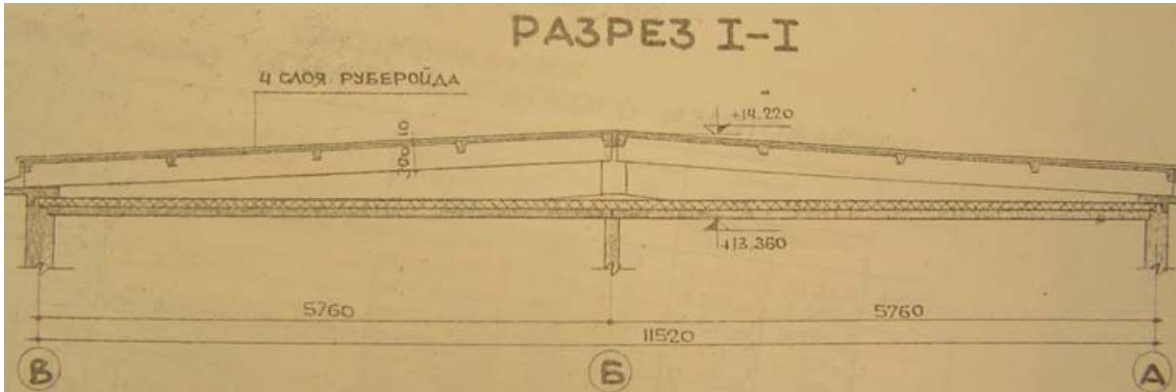
Joonis 2.7 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja akna liitumiskoht (horisontaallõige), M1:10 (1981).



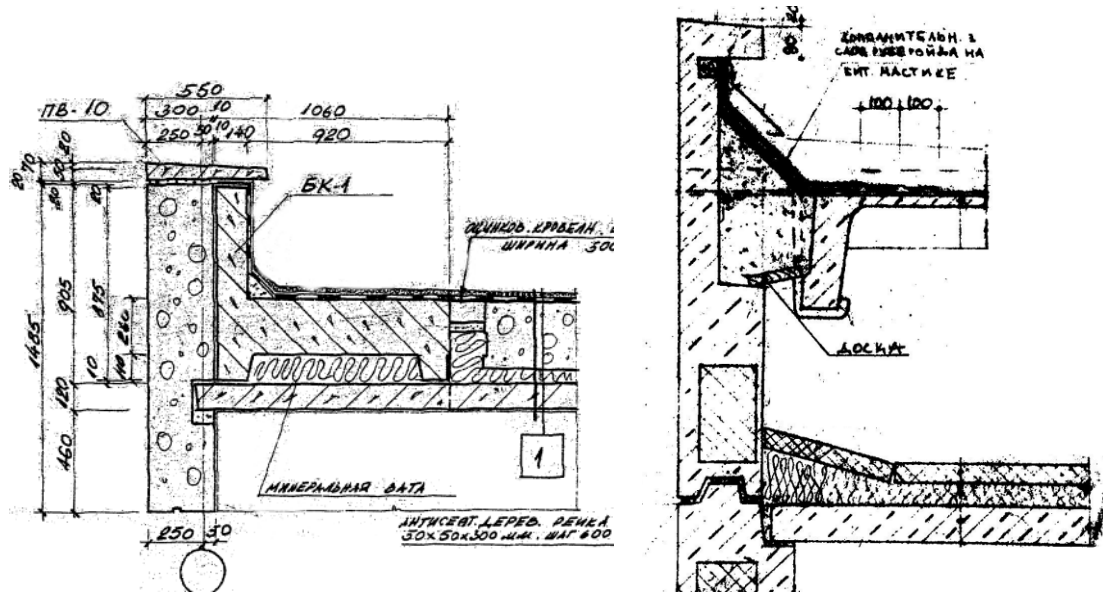
Joonis 2.8 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja akna liitumiskoht (vertikaallõige akna ülaosast (paremal) ja alaosast (vasakul)), M1:10 (1981).



Joonis 2.9 Tüüpseeria 1-464 TT paneelidest sisemisega äraooluga katus.

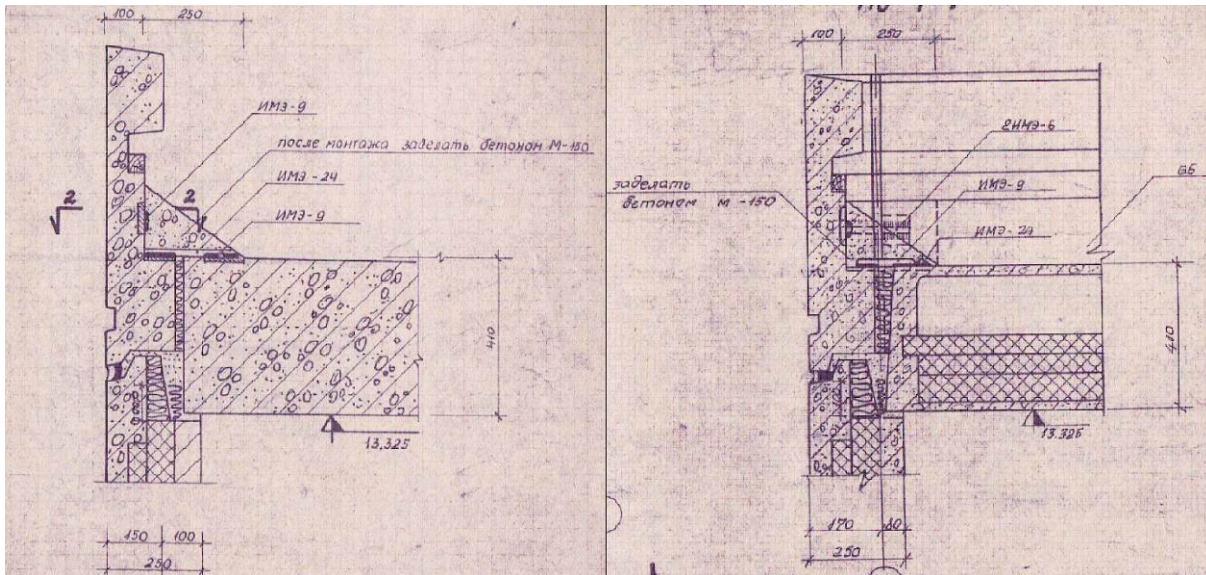


Joonis 2.10 Tüüpseeria 1-464 TT paneelidest välisise äraooluga katus.

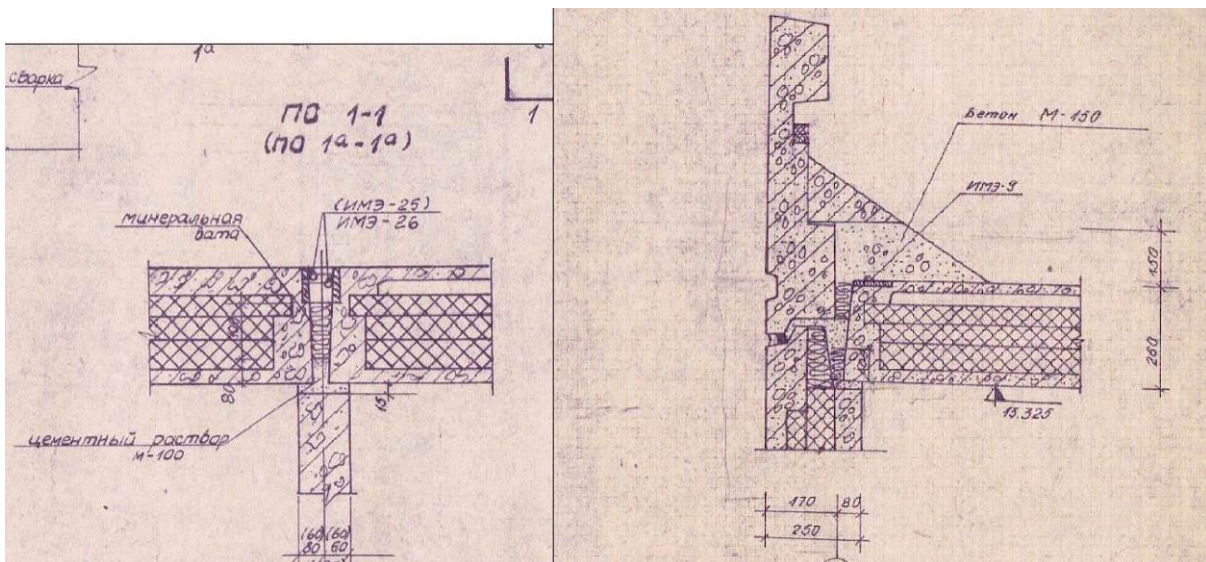


Joonis 2.11 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 131 (vasakul) ja 464 (paremal) välisseina ja katuslae liitumiskoht, M1:20.

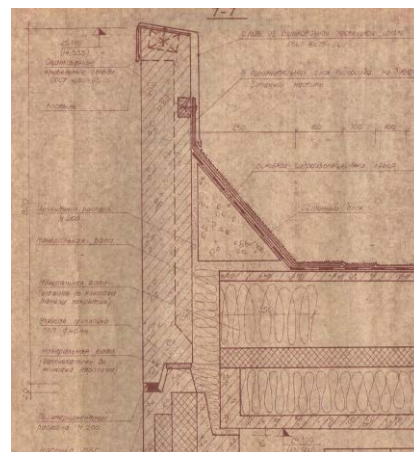
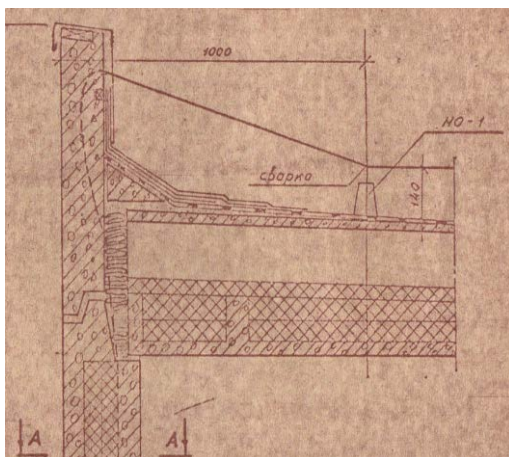




Joonis 2.12 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja katuslae komplekspaneeli liitumiskoht, M1:20 (1974).

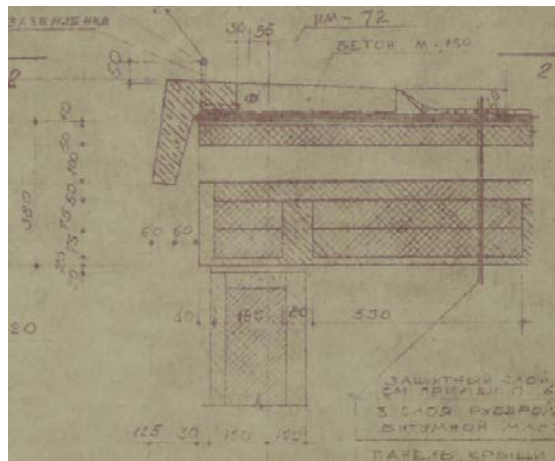
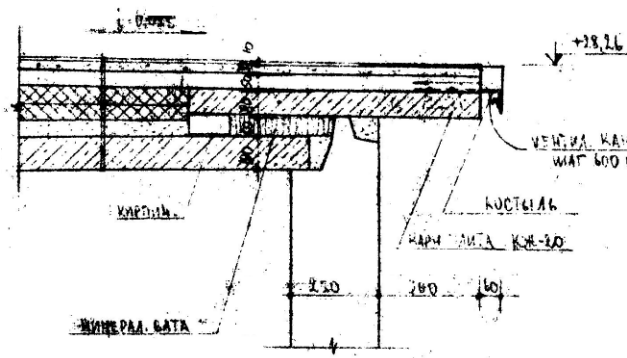


Joonis 2.13 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja katuslae komplekspaneeli liitumiskoht, M1:20 (1974).

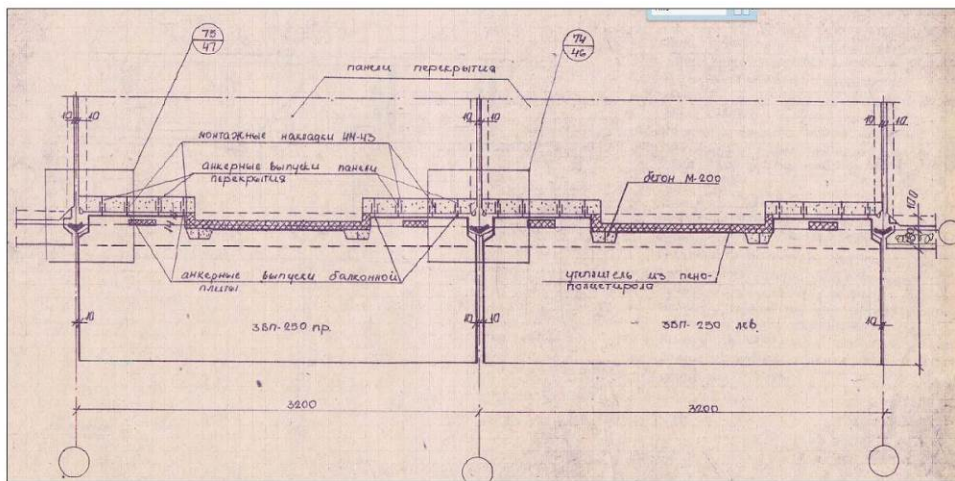


Joonis 2.14 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja katuslae komplekspaneeli liitumiskoht, M1:20 (1984).

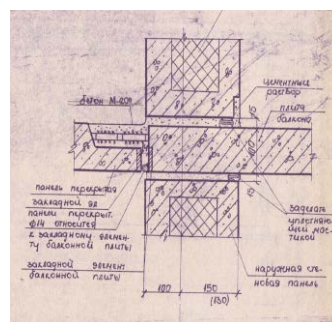
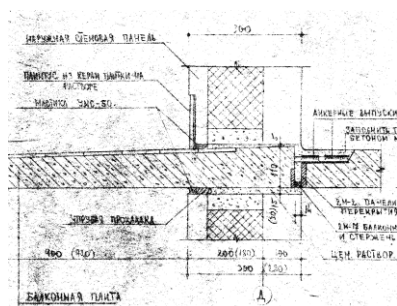




Joonis 2.15 Raudbetoon-suurpaneelilamuseeria 464Д välisseina ja kahekihilise katuslae liitumiskoht räästaga, M1:20.

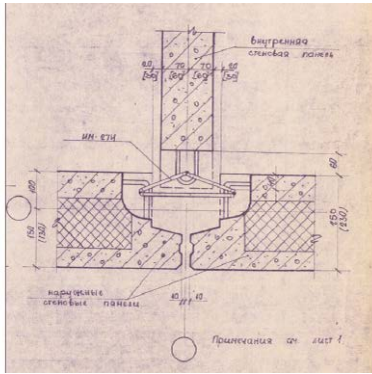


Joonis 2.16 Raudbetoon-suurpaneelilamuseeria 121 välisseina ja rõdu liitumiskoht plaanil, M1:50 (1974).

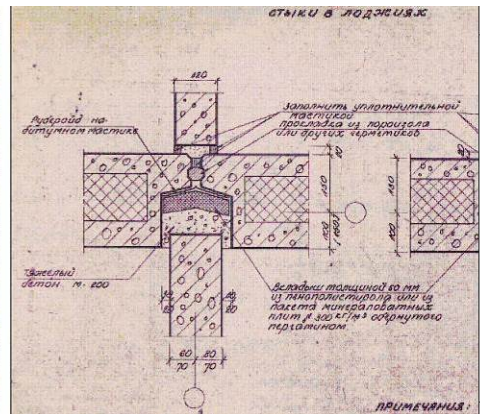
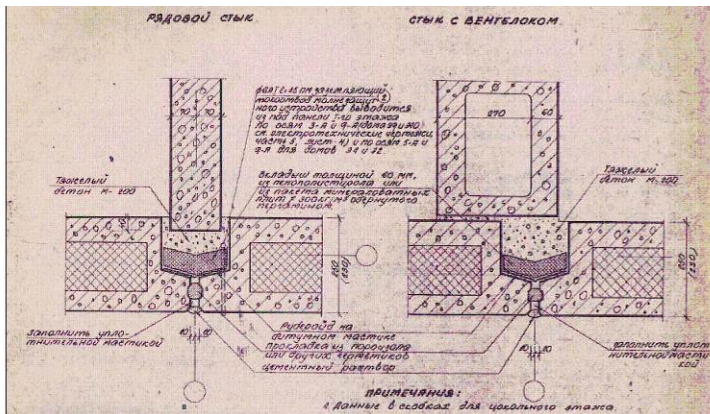
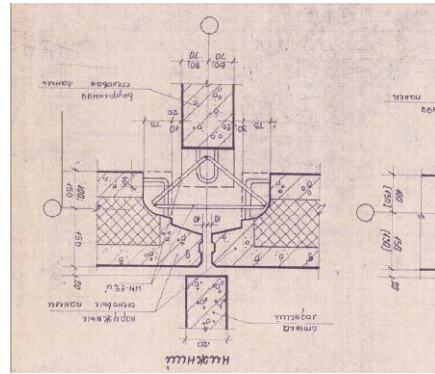


Joonis 2.17 Raudbetoon-suurpaneelilamuseeria 1-464Д välisseina ja rõdu liitumiskoht, M1:20 (1966).

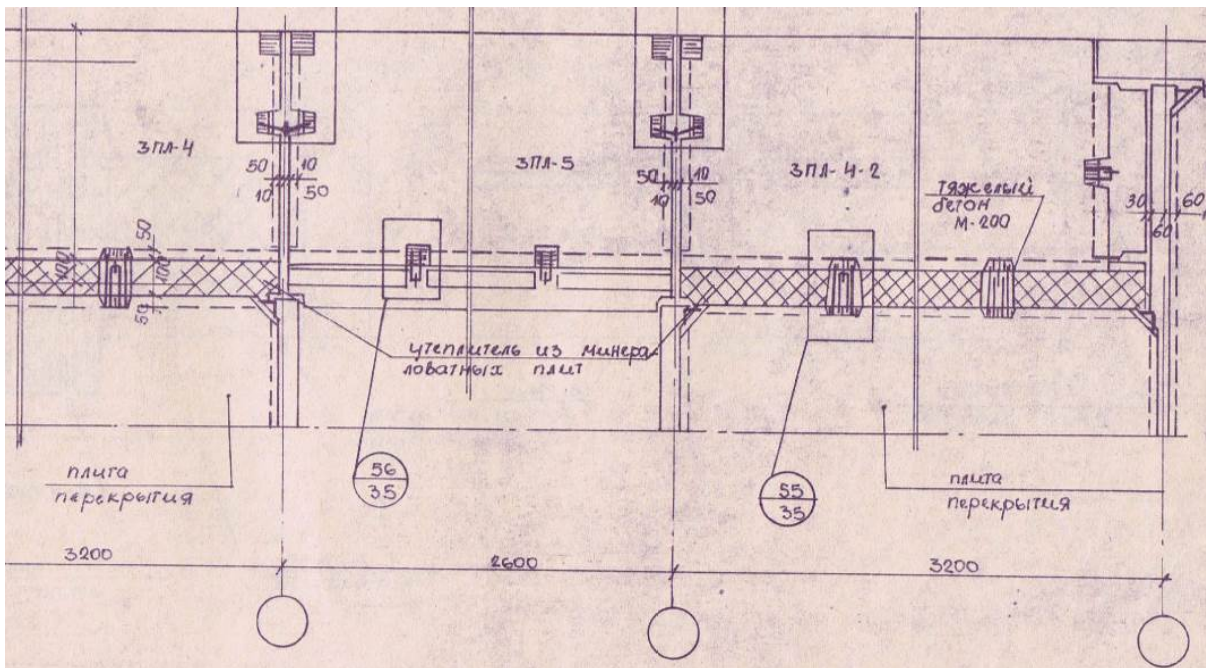




Joonis 2.18 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja vaheseina liitumiskoht (vasakul) ning sama koos lodža vaheseinaga (paremal), M1:20 (1974).

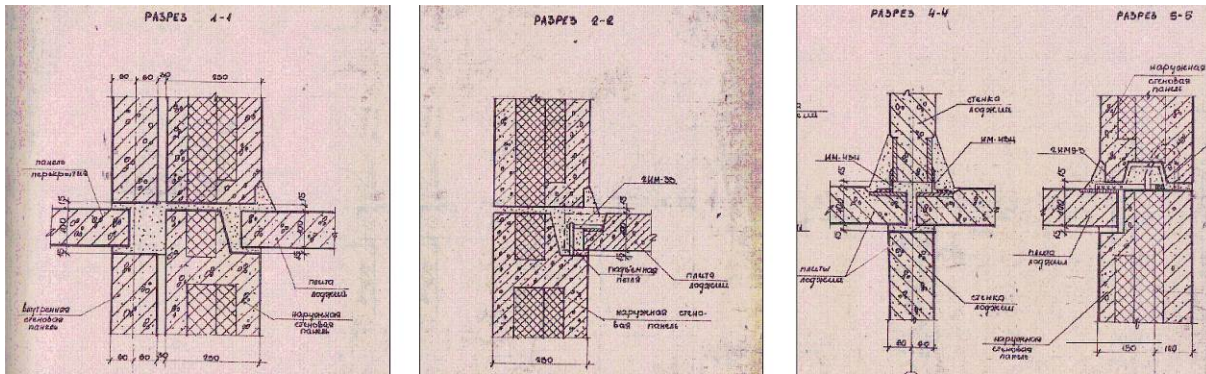


Joonis 2.19 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja vaheseina liitumiskoht (vasakul) ning sama koos lodža vaheseinaga (paremal), M1:20 (1974).

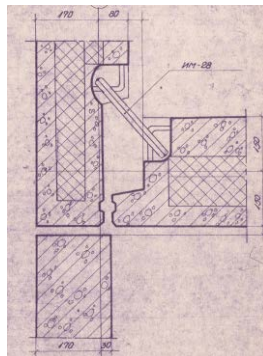


Joonis 2.20 Raudbetoon-suurpaneelilamu seeria 121 välisseina ja lodža liitumiskoht plaanil, M1:50 (1974).

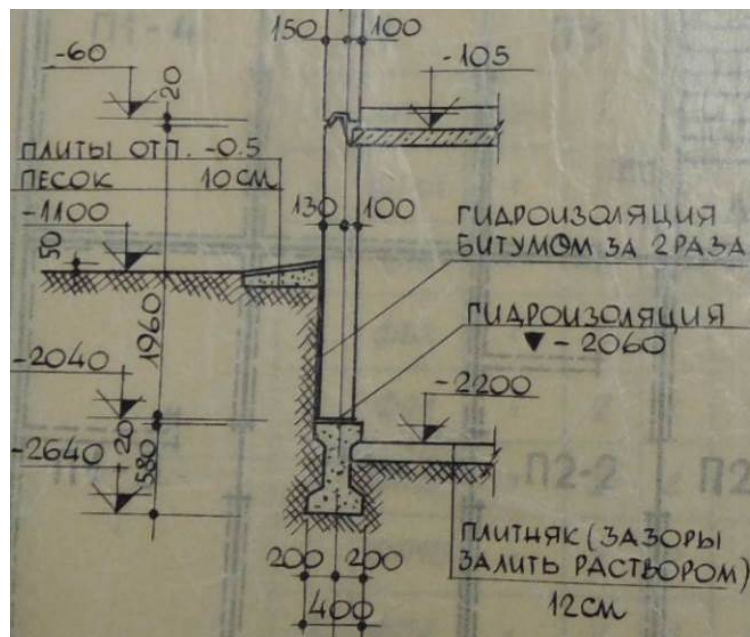




Joonis 2.21 Raudbetoon-suurpaneelilamude seeria 121 välisseina ja lodža liitumiskoha sõlmed, M1:20 (1974).



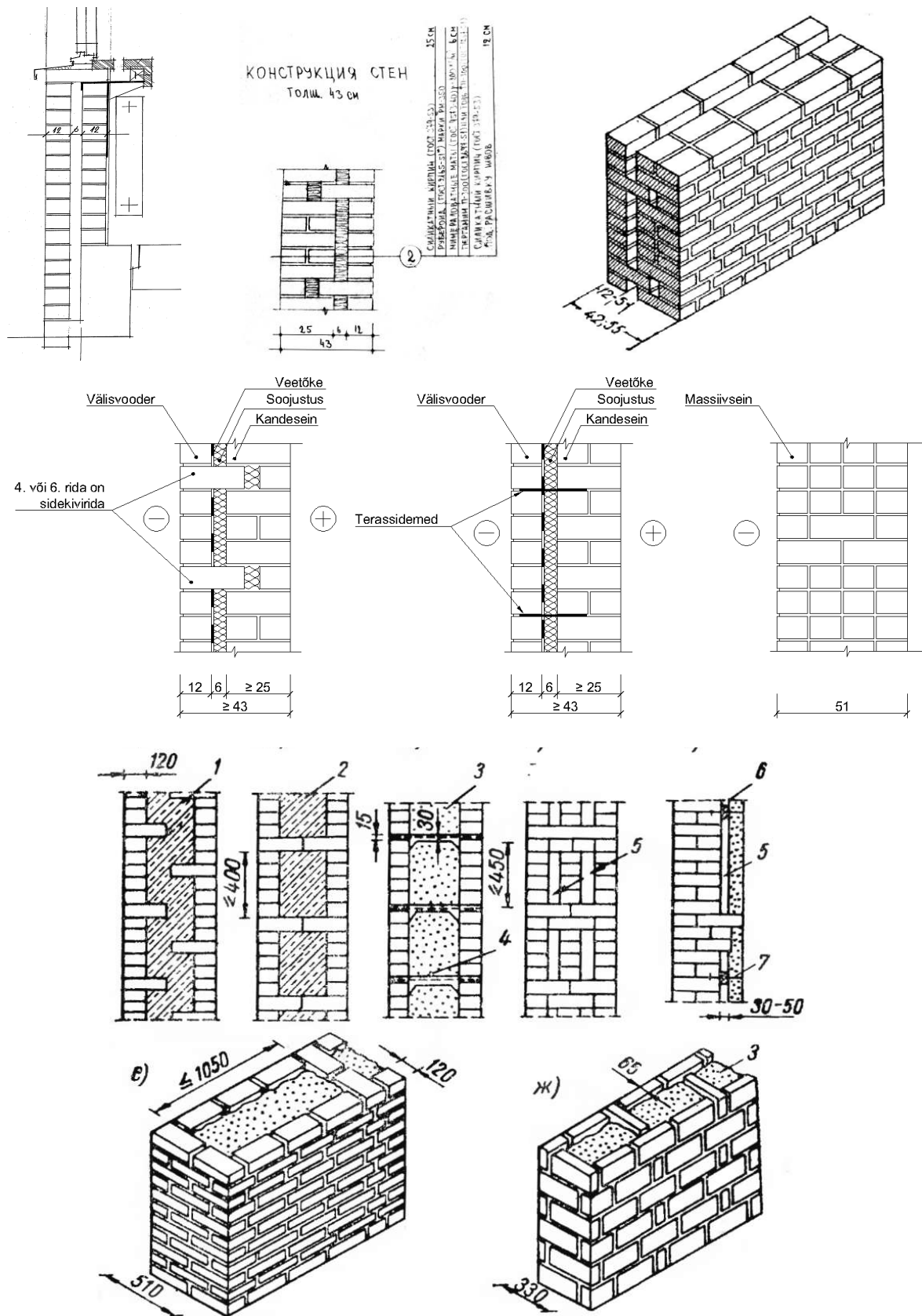
Joonis 2.22 Raudbetoon-suurpaneelilamude seeria 1-121 välisseina ja lodža külgselja liitumiskoht, M1:20 (1974).



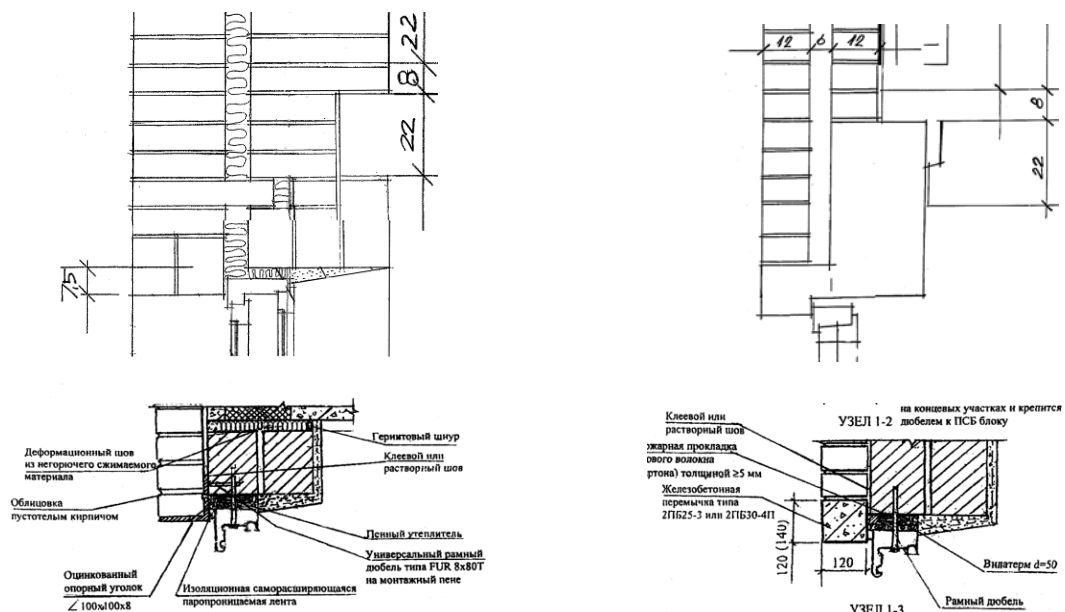
Joonis 2.23 Raudbetoon-suurpaneelilamude seeria 464 soklisõlm, M1:50.

Nagu näha, sisaldavad raudbetoon-suurpaneelilamude välispiirdetarandid küllaltki palju juba algselt projekteeritud külmasildu, mis ebakvaliteetse ehitamise korral võivad olla projektlahendusest oluliselt kriitilisemad. Eriti probleemne koht on konsoolsete rõdude kinnitus välisseinale. Selle külmasilla likvideerimiseks tuleb rõdud eemaldada ja ehitada pärast lisasojustuse paigaldamist uued rõdud, mis kinnituvad maapinnale toetuvale kandepostile. Teine kriitiline koht, millele tuleb välisseina soojustamisel tähelepanu pöörata, on akna ja välisseina liitekoht. Sealse külmasilla likvideerimiseks tuleb aken paigaldada soojustatava välisseina välispinda, uue soojustuse sisse. Nendest kriteeriumitest on lähtunud sõlmelahenduste väljatöötamisel ka käesolevas töös.

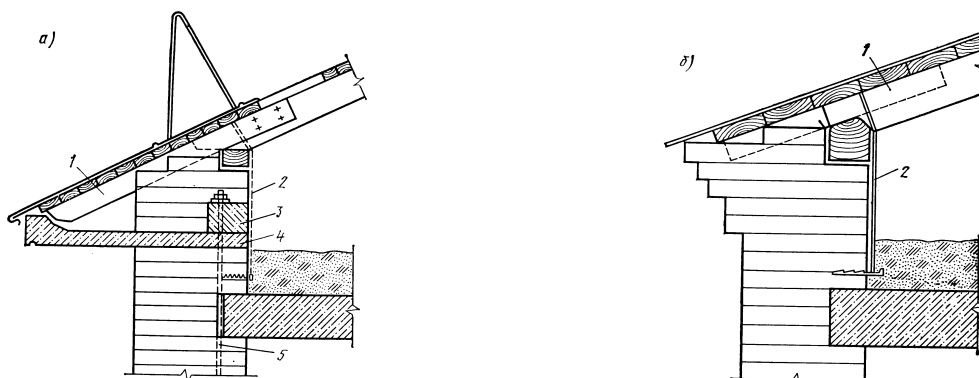
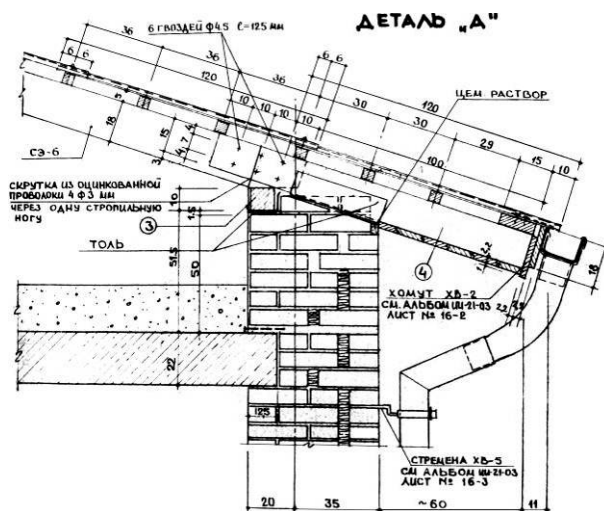
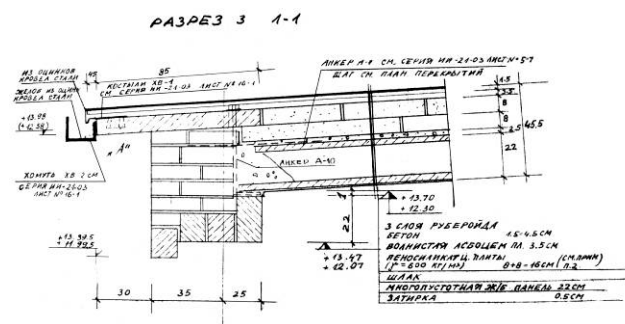
## 2.1.2 Telliskorterelamu



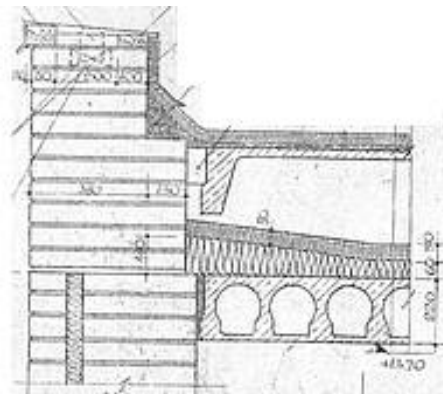
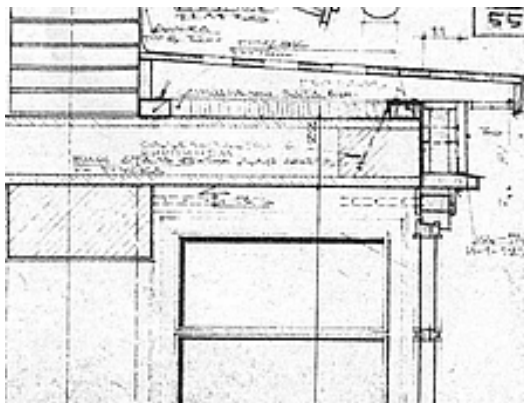
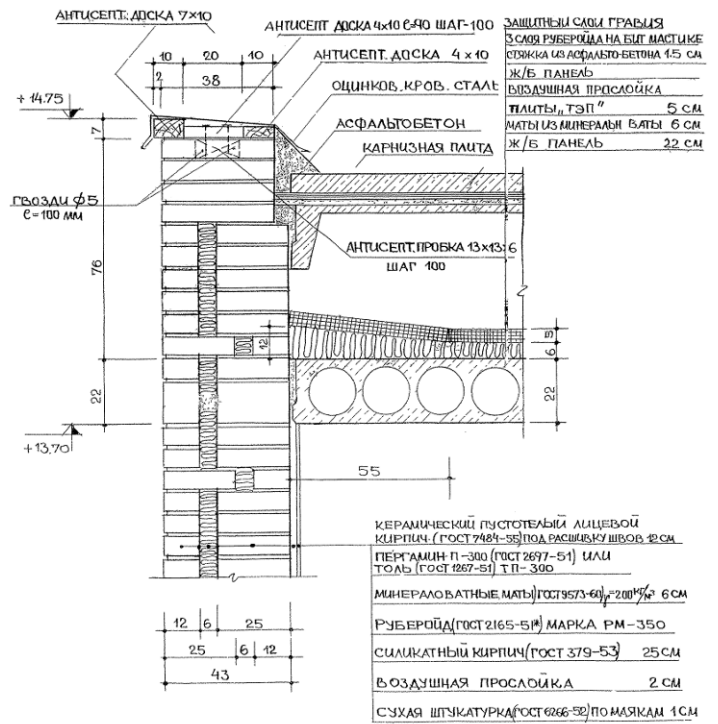
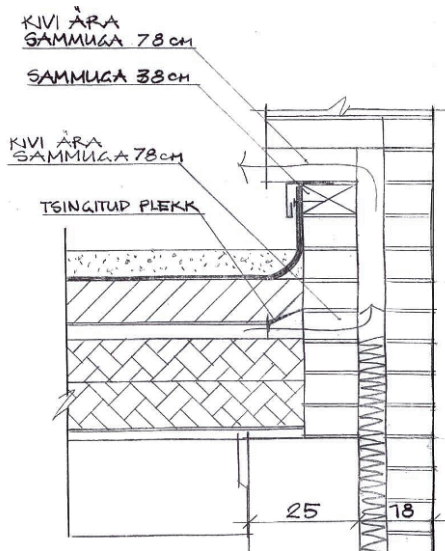
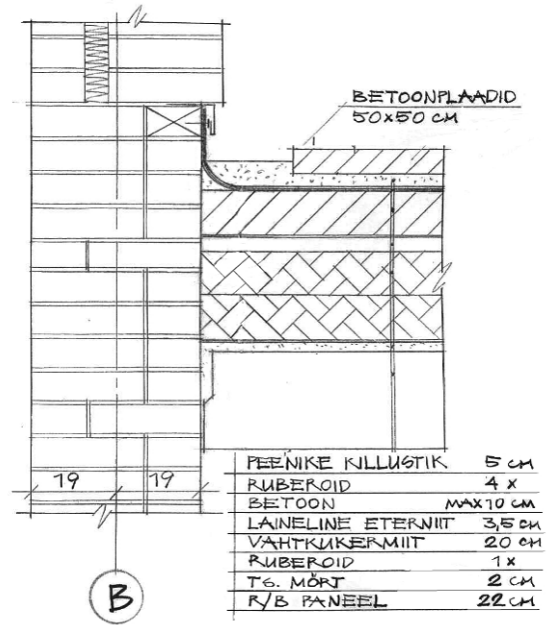
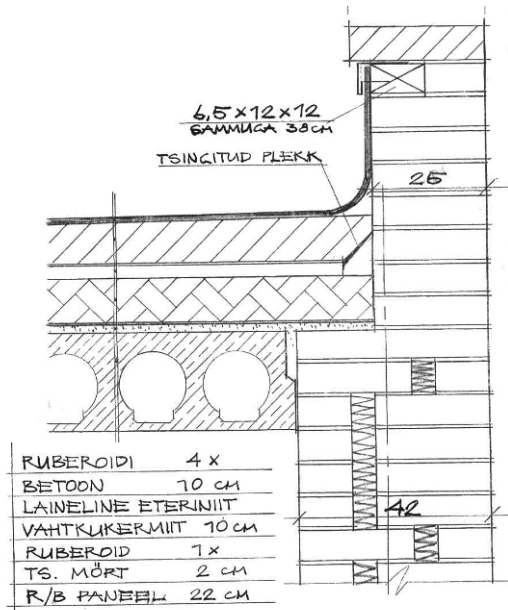
Joonis 2.24 Valik telliselamute peamised välisseinte lahendusi.



Joonis 2.25 Välisseinte silluste lahendusi: monteeritavad raudbetoonsillused ja raudbetoonist lõugtala, M1:20.

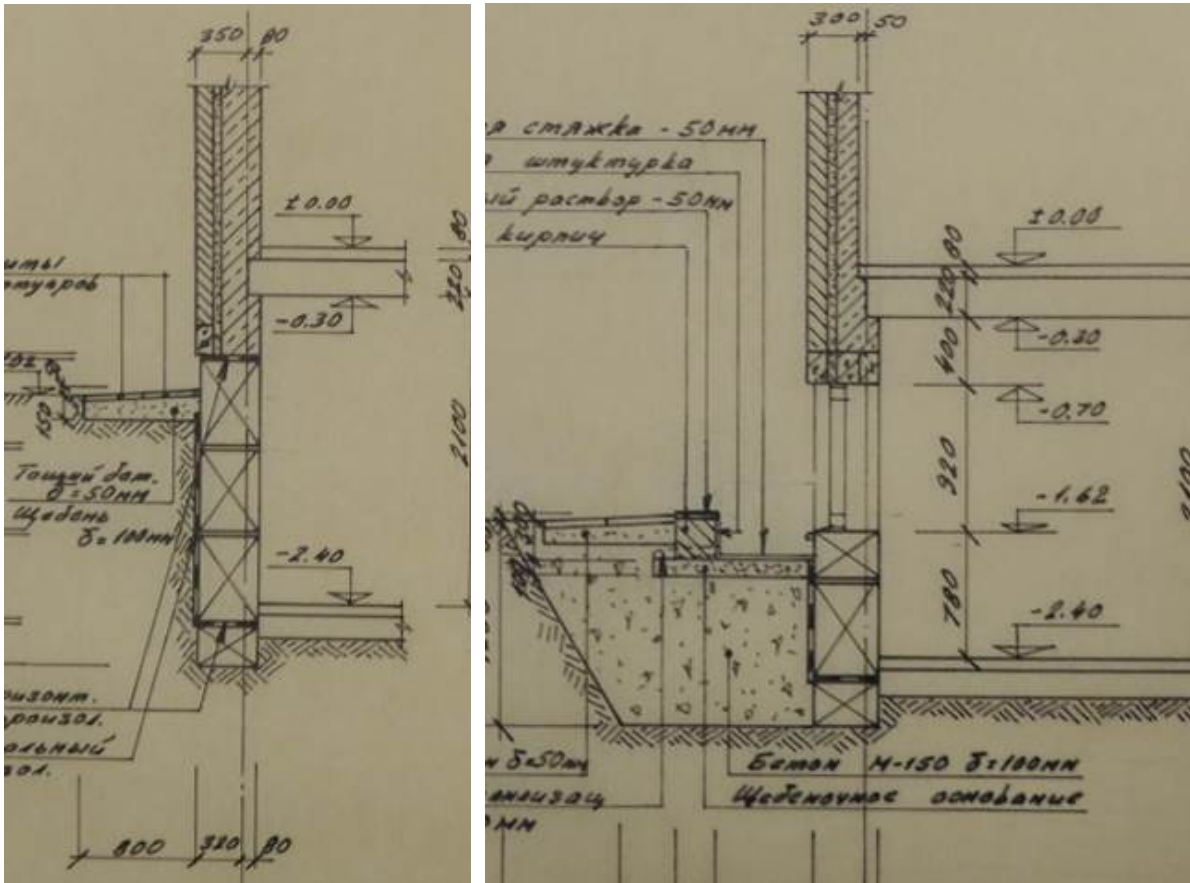


Joonis 2.26 Telliskorterelamute kaldkatuste ja välisseina liitumislahendusi.



Joonis 2.27 Telliskorterelamute lamekatuste ja välisseinte liitumislahendusi.





Joonis 2.28 Telliskorterelamute soklisõlmi M1:50 (1977).

Nagu joonistelt näha, sisaldavad telliskorterelamu välispiirdetarindid küllaltki palju juba algselt projekteeritud külmasildu, mis ebakvaliteetse ehitamise korral võivad olla projektlahendusest oluliselt kriitilisemad. Välisseina projekteeritud soojustus võib üldse puududa (Joonis 2.23). Välisseina soojustus katkeb ka akende ümbruses, kus paled on laotud tellistest ja akna kohal on raudbetoonsillus. Sellise külmasilla likvideerimiseks tuleb aken paigaldada soojustatava välisseina välispinda, uue soojustuse sisse. Nendest kriteeriumitest on lähtunud sõlmelahenduste väljatöötamisel ka käesolevas töös.

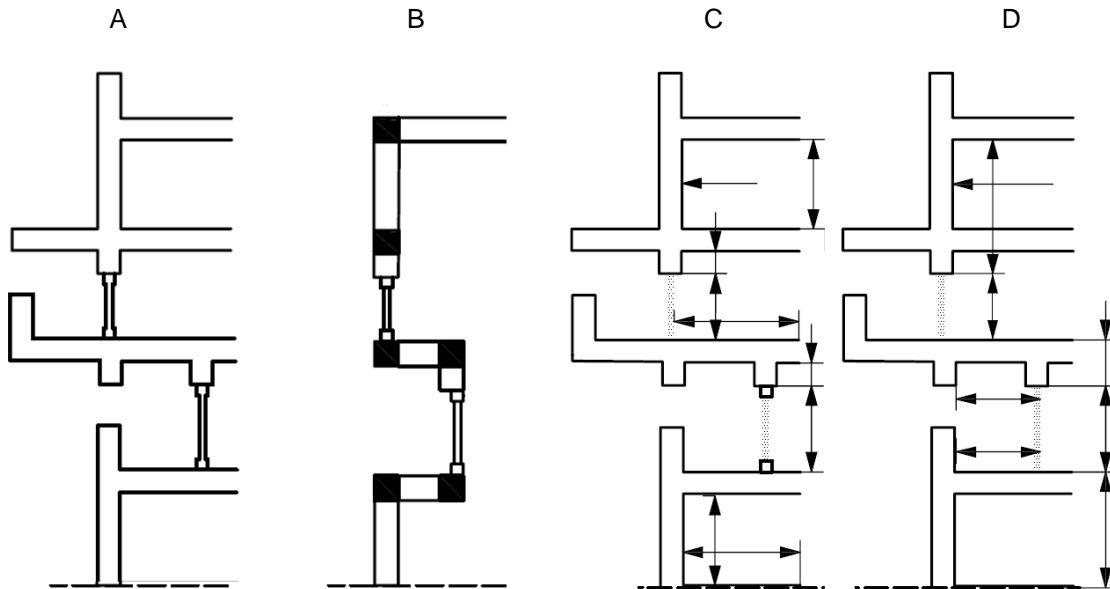


Joonis 2.29 Telliselamu välisseina puudulik soojustus.

## 2.2 Hoonepiirete lisasoojustamine

### 2.2.1 Hoonepiirete soojuskaod

Terve hoone detailsele kahe- või kolmemõõtmelisele soojuslikule modelleerimisele seab piirid tarkvara arvutusvõimekus ja andmete sisestamise töömaht. Seetõttu modelleeritakse hoone sisekliima- ja energiaarvutuses üksikuteks tasapinnalisteks osadeks ning nende vahelisteks liitekohtadeks (Joonis 2.30).



Joonis 2.30 Hoonepiirete soojuskadude arvutus EVS-EN 13789 baasil:

A: Lõige hoonest;

B: Soojuskadude arvutuseks võetakse hoone üksikuteks tasapinnalisteks osadeks (valge ala) ja nende vahelisteks liitekohtadeks (must ala).

Soojuskadude arvutamisel arvestatakse välispiirete pindalad sisemõõtudega (C, arvutus ruumide või tsoonide kaupa) või üldiste sisemõõtudega (D)

Hoone välispiirete summaarne soojuskadu arvutatakse välispiirdeosa soojuslähivuste, tarindite liitekohtade joonsoojuslähivuste, lokaalsete soojustuse katkestuste punktsoojuslähivuste ning õhuleketest tuleneva soojuskadude summana (valem 2.1):

$$\Sigma \Phi = \left( \Sigma U_i \cdot A_i + \Sigma \Psi_j \cdot l_j + \Sigma \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf} \right) \cdot \Delta t, \text{ W/K} \quad (2.1)$$

$U_i$  tarindi soojuslähivus, W/(m<sup>2</sup>·K);

$A_i$  tarindiosa pindala (mõõdetuna sisemõõtude alusel, m<sup>2</sup>);

$\Psi_j$  tarindite liitekohta joonsoojuslähivus, W/(m·K)

$l_j$  tarindite liitekohta pikkus, m;

$\chi_p$  soojustuse lokaalse katkestuse, tarindite nurga või läbiviigu punktsoojuslähivus, W/(tk·K)

$n_p$  soojustuse lokaalse katkestuse, tarindite nurkade või läbiviikude punktsoojuslähivuste arv, tk;

$\dot{V}_{inf}$  infiltratsiooni õhuvooluhulk, mille võib aasta keskmise väärtusena arvutada valemi abil

$$\dot{V} = \frac{q_{50} \cdot A_{välispiirded}}{3600 \cdot x}, \text{ m}^3/\text{s}, \text{ kus } q_{50}: \text{ õhulekkearv, m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2), A_{välispiirded}: \text{ siseruumi}$$

väliskeskonnast eraldavate piirdetarindite (põrand, katus, seinad (koos vaheseinte ja -lagede alla jääva pindalaga, aknad, ukSED jne) pindala, m<sup>2</sup>.

$x \Rightarrow$  ühekorruseline hoone  $x = 35$ ; kahekorruseline hoone  $x = 24$ ; 3-5 korrusega hoone  $x = 20$ ; > viiekorruseline hoone  $x = 15$ ;

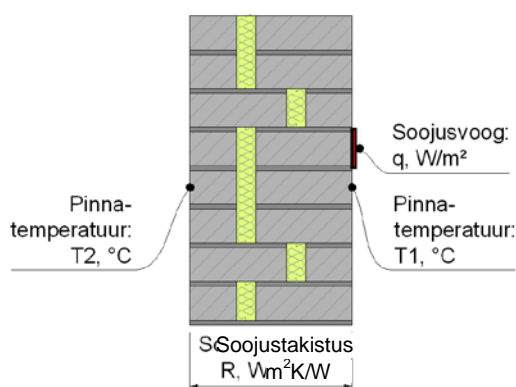
$\rho_a$  õhu tihedus, 1,2 kg/m<sup>3</sup>;

$c_a$  õhu erisoojus, 1005 J/(kg·K);

Hoone renoveerimisprojekti koostamisel arvutatakse tarindite liitekohtade joonsoojuslähivused ja punktsoojuslähivused arvutatakse iga hoone puhul välja arvestades konkreetse hoone ehitus- ja projekteerimislahendusi.

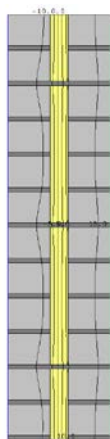
## 2.2.2 Välispiirete soojuslähivus

Välispiirete soojuslähivustena kasutatakse ehitusprojekti andmeid. Olemasoleva hoone soojuslähivuse saab mõõta soojusvooplaadiga (Joonis 2.31). Seinte soojuslähivuse mõõtmiseks sobivad soojusvooplaadid on näiteks Hukseflux HFP01 (mõõtevahemik  $\pm 2000 \text{ W/m}^2$ , mõõtetäpsus  $+5\text{--}15\%$ , suurus  $\varnothing 8 \text{ cm}$ ), ALMEMO FQ90119, Ahlborn FQ90117SI jms. Seda mõõtmismetoodikat käsitleb standard ISO 9869.

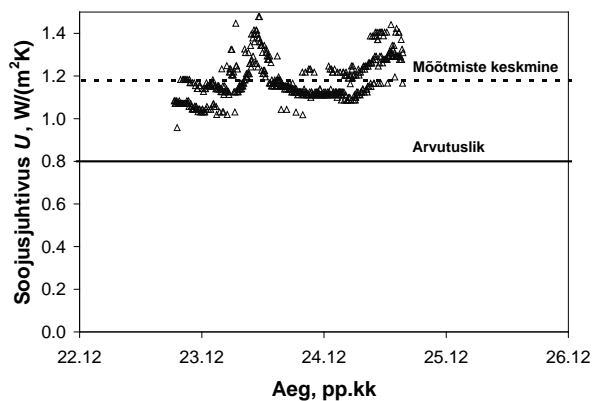


Joonis 2.31 Soojusvoo mõõtmise põhimõtteline skeem (vasakul) ja korterelamu välisseina soojustakistuse mõõtmine (paremal).

Mõõtmine annab oluliselt parema ülevaate hoonepiirete soojuskadudest. Seina tegelik soojuslähivus võib olla oluliselt suurem kui arvutuslik (Joonis 2.32).



Silikaattellis 12 cm  
Mineraalvatt 6 cm  
Silikaattellis 12 cm



$U_{\text{mõõdetud}} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$   
 $U_{\text{arvutatud}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ( $\lambda_{\text{soojustus}} = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )  
 $U_{\text{arvutatud}} = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ( $\lambda_{\text{soojustus}} = 0,07 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )

Joonis 2.32 12 cm + 6 cm + 12 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (Kalamees jt. 2010).

Tuleb teada, et termograafi infrapunakaameraga tehtavad mõõtmised on heaks abimeheks külmasilla kriitilisuse hindamisel (mõõtmised hoone sees) ja soojuslähivuse erinevuse jaotuse hindamisel (mõõtmised hoone sees või õues), kuid termokaameraga ei ole võimalik mõõta hoone piirdetarindite soojuslähivust. Seadme mõõtetäpsus, keskkonnatingimuste ning pinnatakistuse varieeruvus on korrektse tulemuse saamiseks liiga suur.



Piirdetarindite soojusläbivuse arvutusmeetod on esitatud standardis EVS-EN ISO 6946. Soojuslikult mittehomogeensete tarindite soojusläbivus arvutatakse ülemise ja alumise soojustakistuse keskväärtusena vastavalt valemile 2.2:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.2$$

kus:

$R_T'$  mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone),  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;  
 $R_T''$  mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte),  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus,  $R_T'$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , määratakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa abil, vastavalt valemile 2.3:

$$R_T' = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.3$$

kus:

$A_a, \dots, A_n$  piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);  
 $R_{Ta}, \dots, R_{Tn}$  piirde üksikute materjalikihtide ja sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse valemiga 2.4.

$$R = \frac{d}{\lambda_U}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.4$$

kus:

$d$  materjalikihi paksus, m;  
 $\lambda_U$  materjali soojuseri juhtivuse arvutusväärtus,  $\text{W/m} \cdot \text{K}$ .

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus,  $R_T''$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , määratakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühedimensiooniliste soojusvoogude summana, vastavalt valemile 2.5:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.5$$

kus:

$R_{si}$  piirde sisepinna soojustakistus,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;  
 $R_1, R_2$  iga kihi soojustakistus,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;  
 $R_{se}$  piirde välispinna soojustakistus,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Homogeensete kihtide soojustakistus arvutatakse valemiga 2.4 ja mittehomogeensete materjalikihtide (näiteks soojustuskiht, milles on sõrestikpostid) soojustakistus,  $R_x$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , arvutatakse valemiga 2.6:

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.6$$

kus:

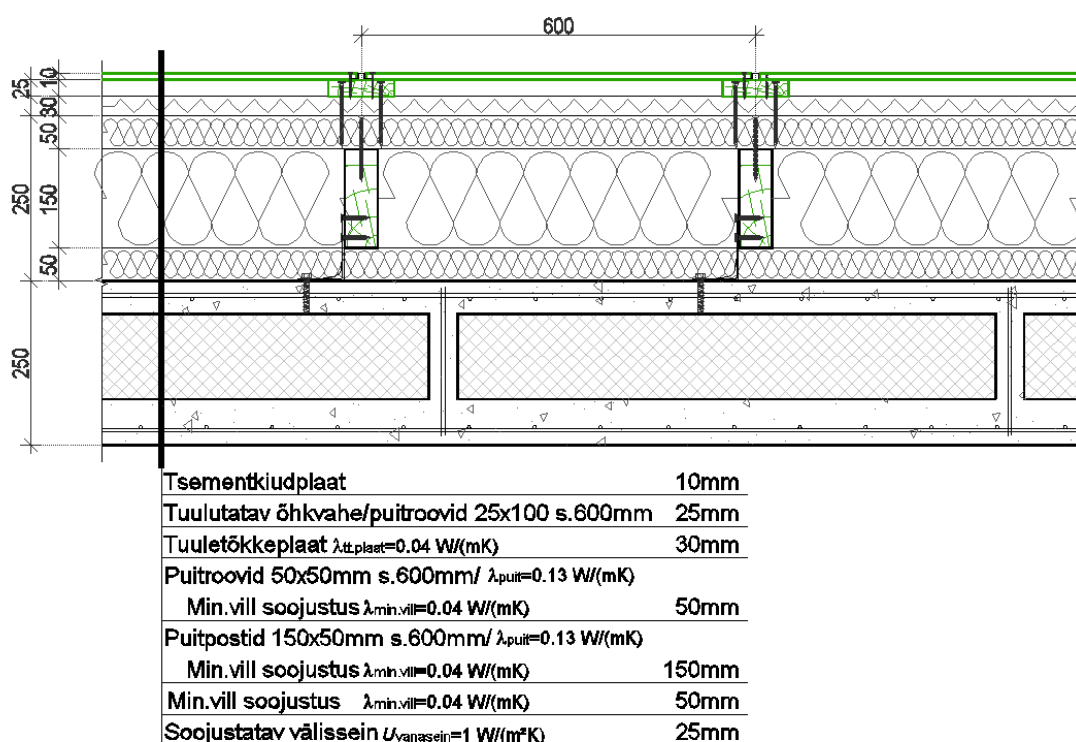
$A_{xa}, \dots, A_{xn}$  mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud)  
 $R_{Ta}, \dots, R_{Tn}$  mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse valemiga 2.4.

Kui soojuslikult mittehomogeense materjalikihi soojuseri juhtivuse erinevad üle viie korra, tuleb tarindi soojuseri juhtivus arvutada detailse temperatuurvälja tarkvaraga (EVS-EN ISO 10211).

Materjalitootja esitab soojuseri juhtivuse deklareeritava väärtuse  $\lambda_D$ , mis esindab 90% usaldusnivool vähemalt 90% ehitusmaterjali või -toote toodangut keskmise temperatuuriga +10 °C, mis on enne katsetamist tasakaalustunud +23 °C temperatuuri ja ümbritseva õhu suhtelise niiskuse RH 50% keskkonnas. Materjalide soojuseri juhtivus sõltub keskkonnatingimustest, eelkõige temperatuurist (üldiselt on kõrgemal temperatuuril suurem soojuseri juhtivus) ja niiskusest (üldiselt on niiskem materjal suurema soojuseri juhtivusega) ning aja jooksul materjaliga toimuvatest protsessidest (inertgaaside difusioon, geomeetria muutus vms).

Arvutustes tuleb arvestada materjali reaalse soojuseri juhtivusega, mistõttu ei ole deklareeritava soojuseri juhtivuse väärtuse kasutamine hoone soojuskadude arvutamisel sobilik. Materjalitootjad, kes tunnevad oma materjali käitumist erinevates keskkonnatingimustes, saavad anda projekteerijale vastavad soojuseri juhtivuse näitajad. Vastasel korral tuleb lähtuda suurusjärgust, mille arvutust pakub standard EVS-EN ISO 10456, ja materjalitootja peab esitama oma toodetud materjalile sobivad soojuseri juhtivuse keskkonnasõltuvustegurid.

Joonis 2.33-I on esitatud raudbetoon-suurpaneelilamu välisseina horisontaalristlõige, mille keskmine soojusläbivus on 1 W/(m<sup>2</sup>·K).



Joonis 2.33 Lisasoojustatud raudbetoon-suurpaneelilamu välissein.

Kuna sõrestikpostide ja roovide samm on välisseinal 60 cm vertikaalsuunas ja 60 cm horisontaalsuunas, võib kogusoojustakistuse arvutada 60 × 60 cm pindalas.

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

$$R_T' = \frac{60 \cdot 60}{\frac{55 \cdot 55}{8,17} + \frac{55 \cdot 5}{7,30} + \frac{5 \cdot 55}{5,57} + \frac{5 \cdot 5}{4,17}} = 7.78 \text{ m}^2 \cdot \text{KW} \quad 2.3$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R'_T = 0,13 + 1 + \frac{0,05}{0,04} + \frac{60 \cdot 60}{\frac{55 \cdot 55}{\left(\frac{0,15}{0,04}\right)} + \frac{55 \cdot 5}{\left(\frac{0,15}{0,04}\right)} + \frac{5 \cdot 55}{\left(\frac{0,15}{0,13}\right)} + \frac{5 \cdot 5}{\left(\frac{0,15}{0,13}\right)}} + \frac{60 \cdot 60}{\frac{55 \cdot 55}{\left(\frac{0,05}{0,04}\right)} + \frac{55 \cdot 5}{\left(\frac{0,05}{0,13}\right)} + \frac{5 \cdot 55}{\left(\frac{0,05}{0,043}\right)} + \frac{5 \cdot 5}{\left(\frac{0,05}{0,13}\right)}} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04 = 7,38 \quad 2.5$$

Ülemise ja alumise soojustakistuse keskväärtus:

$$R = \frac{7,78 \cdot 7,38}{2} = 7,58 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad 2.2$$

$$\text{Piirdetarindi soojuslähivus } U = \frac{1}{7,58} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Piirdetarindite soojuslähivus korrigeeritakse standardite EVS-EN ISO 6946 ja EVS 908-1 kohaste parandusteguritega, mis võtaksid arvesse soojustuse kvaliteetset paigaldust, soojustuse õhujuhtivust ja soojustust lähivad kinnitused.

Piirde soojuslähivus on korrigeeritud järgmistel eeldustel:

- soojustus on hästi paigaldatud, aga vaatamata hoolikale tööle ja järelevalvele v võib esinevad mõningaid soojustuskihti lähivaid õhupragusid, põhjustades õhuringluse soojustuse sooja ja külma poole vahel:

$$\Delta U_g = 0,01 \cdot \left(\frac{5,46}{7,58}\right)^2 = 0,021 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- soojustus on õhutõkke ja tuuletõkke vahel ja soojustus ei ole suure õhujuhtivusega, millega on minimeeritud soojustuse sisesest konvektsioonist tingitud soojuskaod:

$$\Delta U_a = 0,005 \cdot \left(\frac{5,46}{7,58}\right)^2 = 0,0026 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

- puitsõrestikpostid on kinnitatud raudbetoonseinale metallkinnititega:

$$\Delta U_f = 0,8 \cdot \frac{50 \cdot 0,003 \cdot 0,1 \cdot \frac{1}{0,6} \left(\frac{1,25}{7,58}\right)^2}{0,05} = 0,011 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

Seega hoone soojuskadude arvutuses kasutatav korrigeeritud soojuslähivus on:

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_a + \Delta U_f = 0,13 + 0,021 + 0,0026 + 0,011 = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Nagu eeltoodust näha, võib realiseeruva ehk valmishitatava piirdetarindi korrigeeritud soojuslähivus (0,17 W/(m<sup>2</sup>·K)) olla üle veerandi võrra suurem kui ideaaltarindi soojuslähivus (0,13 W/(m<sup>2</sup>·K)). Erinevus on eriti suur (≈35%), kui võrrelda korrigeeritud soojuslähivust (0,17 W/(m<sup>2</sup>·K)) soojuslikult homogeense tarindi soojuslähivusega (0,12 W/(m<sup>2</sup>·K)).

## 2.2.3 Tarindite liitekohtade joon- ja punktsoojuslähivuse ning temperatuuriindeksi arvutus

Tarindite liitekohtade joon- ja punktsoojuslähivuste ning temperatuuriindeksi väärtustena kasutatakse ehitusprojekti andmeid. Soojuslevi on tarindite geomeetria muutudes, liitekohtades ja soojustuse katkestuste juures kahe- või kolmemõõtmeline. Mitmemõõtmelise arvutuse tegemiseks on otstarbekas kasutada sellekohast arvutustarkvara (Tabel 2.1). Arvutuse käigus jaotatakse arvutatav tarindite liitekoht väikesteks osadeks ning arvutatakse temperatuuri ja soojuslevi muutuvates või tasakaalutingimustes.

Tabel 2.1. Tarkvarad, mida saab kasutada mitmemõõtmelise soojuslevi arvutuseks (Tilmans & Orshoven).

Nimi	Tüüp	2D/3D	Ääritingimused	Geomeetria	Litsents	Valideerimine
<b>Ehitusfüüsika tarkvarad</b>						
AnTherm	H	3D	SS	R	Kommerts	EN ISO 10211, EN ISO 10077-2
Argos	H	2D	SS	FF	Kommerts	
Bisco / Bistra	H	2D	SS / TR	FF	Kommerts	EN ISO 10211, EN ISO 10077-2
Champs-bes	HAM	2D	TR	R	Vabavara	EN ISO 10211
David32	H	3D	SS	R	Vabavara	EN ISO 10211
Delphin	HAM	2D	TR	R	Kommerts	HAMSTAD; EN 15026:2007
Flixo	H	2D	SS	FF	Kommerts	EN ISO 10211, EN ISO 10077-2
FramePlus	H	2D		FF	Kommerts	
HAMLab	HAM	3D	TR	R	Vabavara	
Heat 2	H	2D	TR	R	Kommerts	EN ISO 10211 EN ISO 10077-2
Heat 3	H	3D	TR	R	Kommerts	EN ISO 10211
KOBRA v3.0w	H	3D	SS	R	Vabavara	EN ISO 10211
KOBRU86 / Sectra	H	2D	SS / TR	R	Kommerts	EN ISO 10211
RadTherm	H	3D	TR	FF	Kommerts	EN ISO 10211
Solido	H	3D	SS	FF	Kommerts	EN ISO 10211
TAS ambiens	H	2D	TR	FF	Kommerts	EN ISO 10211
Therm	H	2D	SS	FF	Vabavara	EN ISO 10211
Trisco / Voltra	H	3D	SS / TR	R	Kommerts	EN ISO 10211
UNorm	H	3D	SS	R	Vabavara	EN ISO 10211, EN ISO 10077-2
WUFI 2D 3.2	HM	2D	TR	FF	Kommerts	EN ISO 10211
<b>Universiaalsed lõplike elementide meetodi tarkvarad</b>						
Ansys multiphysics	Univ.	3D	TR	FF	Kommerts	
Ansys CFX	Univ.	3D	TR	FF	Kommerts	
Fluent	Univ.	3D	TR	FF	Kommerts	
Phoenics	Univ.	3D	TR	FF	Kommerts	
Comsol multiphysics	Univ.	3D	TR	FF	Kommerts	EN ISO 10211
SAMCEF thermal	H	3D	TR	FF		

Tarkvara tüüp: H – soojuslevi, HAM – soojus-, õhu- ja niiskuslevi, Univ. – universaalne.

2D – kahemõõtmeline arvutus, 3D – kolmemõõtmeline arvutus.

Ääritingimused: SS – statsionaarolukord, TR – muutuvad ääritingimused.

Geomeetria: R – hulknurkne geomeetria, FF – vaba geomeetria, st ka kõverjooned.

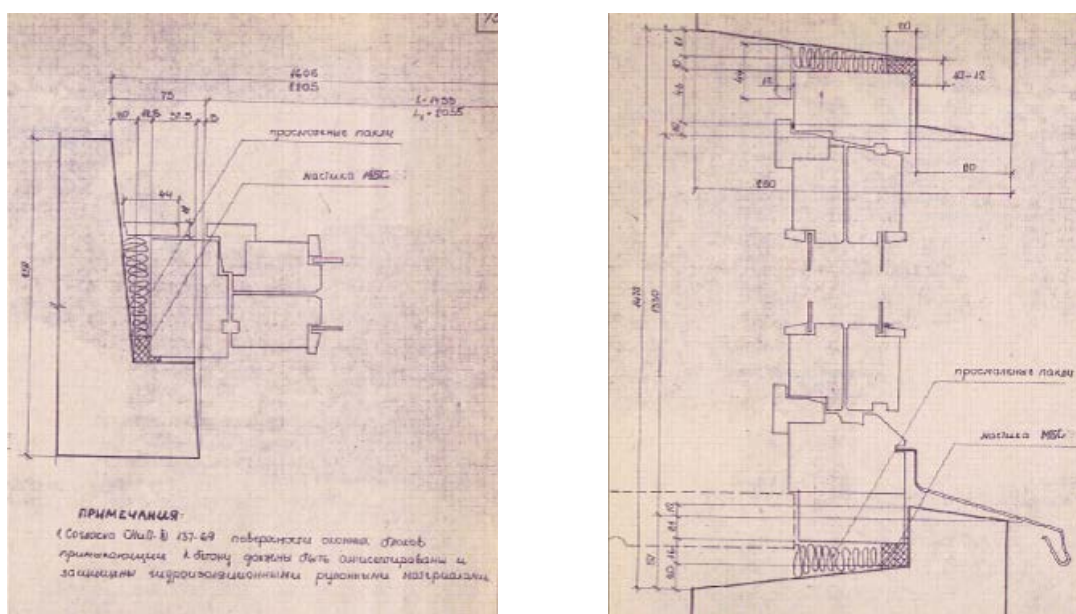
Arvutusmeetodeid on põhjalikumalt käsitletud standardites:

- EVS-EN ISO 10211 Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid. 18 € (www.evs.ee);
- EVS-EN ISO 10077-2 Akende, uste ja luukide soojustehniline toimivus. Soojusläbivuse arvutus.
  - Osa 1: Üldosa. 15,4 € (www.evs.ee);
  - Osa 2: Raamide numbriline arvutusmeetod. 15,4 € (www.evs.ee);
- ISO 15099 Thermal performance of windows, doors and shading devices. – Detailed calculations. 148 € (www.evs.ee).

Nimetatud standardites on arvutusmeetodeid detailselt käsitletud, mistõttu käesolevas juhendis piirduakse vaid ühe arvutusnäitega.

Akna ja raudbetoonpaneelist välisseina liitekohta soojusliku toimimise arvutusnäide.

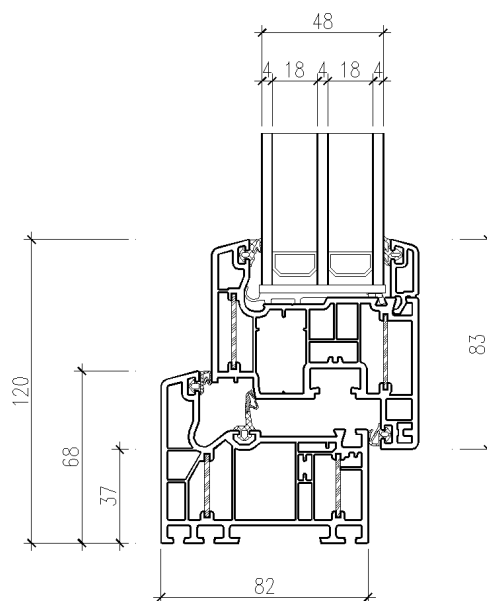
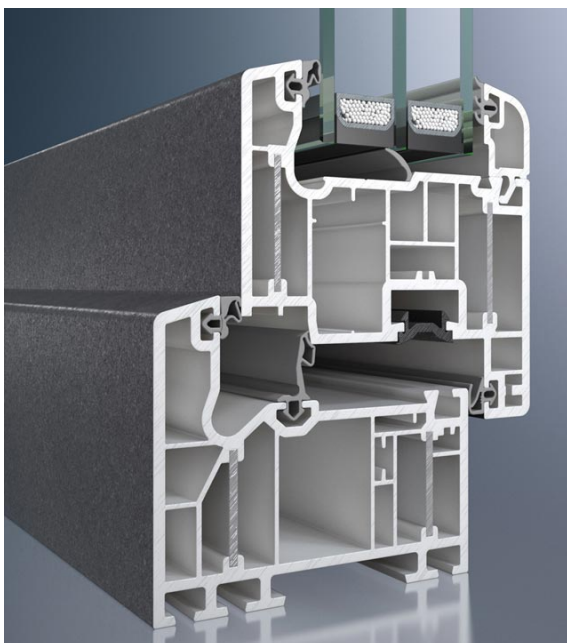
Enne projekteerimist tuleb välja selgitada tarindite liitekohta (praegusel juhul akna ja seinaliitekohta) renoveerimiseelne lahendus. See selgub kohapealsete mõõtmiste ja/või arhiivijooniste abil (Joonis 2.34).



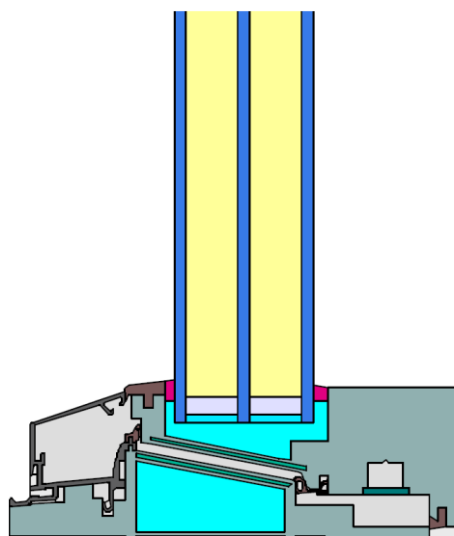
Joonis 2.34 Akna ja raudbetoonplaadist välisseina liitekoht enne renoveerimist horisontaallöikes (vasakul) ja vertikaallöikes (paremal).

Renoveerimisprojekti koostamisel on vaja teada konkreetsete hooneelementide omadusi: geometria, tehnilised omadused. Kui projekteeritakse tööprojektist üldisemat staadiumi (eelprojekt või põhiprojekt), kirjeldatakse renoveerimislahenduse elemendid tehniliste omaduste alusel, mis jäävad hilisemates projekteerimisstaadiumites lõpliku valiku aluseks. Tellija ja projekteerimise projektijuhi või peaprojekterija koostöös otsustatakse projektlahenduse alused piisavalt täpselt (näiteks, kas kasutatakse puit- või plastakent) ja hilisemad muudatused detailsemates projekteerimisstaadiumites ei ole nii suured (üldjuhul piirdub aknalengi ja -raami profiili täpsustamisega ning selle joonistel kasutamisega).

Akna ja välisseina liitekohta joonestamisel tuleb kasutada projektlahenduse kohast aknalengi ja -raami profiili (vt näiteid Joonis 2.35, Joonis 2.36). Projektlahendus on võimalik korralikult joonestada ja ehituslahendus tekstiliselt kirjeldada vaid siis, kui võetakse aluseks ehitamisel realselt kasutatavate toodete sõlmejoonised. Ainult sel juhul on ehitajal selline projekt, mille järgi ehitada, ja järelevalvel, mille alusel tulemuse kvaliteeti kontrollida. Akna ja välisseina liitekohta sobiv mõõtkava on M1:10 või M1:5.



Joonis 2.35 Kvaliteetse mitmekambrilise laia lengiga plastakna ristlõige. Lai raam võimaldab paigaldada korralikku  $\geq 48$  mm paksusega kolme klaasiga paketti (kolmest kaks klaasi on selektiivklaasid). Lenki ja raami jäigastavad soojusvoo suunaga risti olevad elemendid juhivad soojust vähem kui plastraamisised terasprofiilid. Aknaraami sertifitseeritud soojusläbivus  $U_{f, all} = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $U_{f, küljed, üleval} = 0,76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $f_{Rsi} \geq 0,73$



Joonis 2.36 Kvaliteetse soojustatud laia lengiga puit-alumiiniumakna ristlõige. Lai raam võimaldab paigaldada korralikku  $\geq 58$  mm paksusega kolme klaasiga paketti (kolmest kaks kaasi on selektiivklaasid). Lenki ja raam on seina tasapinnas kitsad, minimeerides nii lengi ja raami kaudu toimuvat soojuslevi. Aknaraami sertifitseeritud soojusläbivus  $U_{f, all} = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $U_{f, küljed, üleval} = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $f_{Rsi} \geq 0,76$

Aken on paigaldatud soojustuse tasapinda ja kinnitatud seinale kronsteinidega (vt. Joonis 2.37) ning tihendatud seestpoolt aurutõkketeibiga ja väljast poolt hüdroisolatsiooni teibiga (vt. Joonis 2.38).





Joonis 2.37 Akna paigaldus soojustuse tasapinda kinnituskronsteinidega.



Joonis 2.38 Akna tihendamine tihendustepipdega.

Tarindite liitekoha arvutusulatus sõltub analüüsivast sõlmest ja selle geometriast (vt Tabel 2.2).

Soojuskadude ja külmasilla temperatuuriindeksi arvutustes kasutatakse erinevaid sisepinna soojustakistuste suurusi, sest hoone soojuskadu (joon- ja punktsoojusläbivus) arvutatakse keskmiste suuruste järgi, niiskustehniline toimimine (temperatuuriindeks) arvutatakse kriitiliste suuruste alusel (üldiselt kasutatakse kriitilisuse taset, kus 90% olukordadest ei ületa määratud taset ja 10% olukordadest ületab määratud taset).

Tabel 2.2 Arvutusulatus tarindite liitekoha soojuskadude arvutamisel (täpsemalt vt. EVS. EN-10211)

Tarindi kirjeldus	Arvutusulatus liituvast tarindist
Õhuga kontaktis olevate tarindite sõlmed	Suurem kas: 1m või 3xtarindi paksus d või Sümmeetriatasand (kui <1m või 3×d)
Pinnasega kontaktis olevate tarindite sõlmed	
• Horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast hoone sees	0,5 × põranda mõõt (≤ 4m)
• Horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast väljaspool hoonet	2,5 × põranda laius (≤ 20m)
• Vertikaalne kaugus horisontaalsest tasapinnast maapinnast allpool	2,5 × põranda laius (≤ 20m)
• Vertikaalne kaugus horisontaalsest tasapinnast allpool põrandapinda (kohaldatakse üksnes juhul, kui vaadeldav põrandapind asub enam kui 2 m. madalamal maapinnast)	2,5 × põranda laius (≤ 20m)
• Horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast hoone sees	0,5 × põranda mõõtmed (≤ 4m)

Energiaarvutuste jaoks kasutatavad sisepinna soojustakistused on esitatud standardis EVS-EN ISO 6946, millele ka EVS-EN ISO 10211 viitab:

- sisepinna soojuspinnatakistus, soojusvool üles  $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;
- sisepinna soojuspinnatakistus, horisontaalne soojusvool  $R_{si} = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;
- sisepinna soojuspinnatakistus, soojusvool alla  $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;
- välispinna soojuspinnatakistus, soojusvool alla  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

EVS-EN ISO 13788 standard soovib sisepinna temperatuuri kriitilisuse arvutustes kasutada järgmisi sisepinna soojustakistusi:

- sisepinna soojuspinnatakistus, aknaklaas  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;
- sisepinna soojuspinnatakistus, ruumi ülejäänud osad  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Projekteerimisel tuleb arvestada, et sisepinna soojustakistus võib olla lokaalselt suurem, eriti seal, kus konvektsioon ja soojuskiirgus on piiratud. Sellistel puhkudel võib niiskustehnilise kriitilisuse hindamisel ja temperatuuriindeksi arvutamisel kasutada järgmisi sisepinna soojustakistusi:

- sisepinna soojuspinnatakistus, aknaklaas  $R_{si} = 0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  (ISO 10077-2);
- sisepinna soojuspinnatakistus, ruumi alumine nurk  $R_{si} = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;
- sisepinna soojuspinnatakistus, piirdepind, mis on „kapi taga“  $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Tabel 2.3 Arvutustes kasutatud pinna soojustakistused.

	Pinna soojustakistus sõltuvalt soojusvoolu suunast		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)	Alla (põrand)
$R_{si}$ , ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ) (soojusläbivuse arvutustes)	0,10	0,13	0,17
$R_{si}$ , ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ) (temperatuuriindeksi arvutustes)	0,25	0,25	0,25
$R_{se}$ , ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ )	0,04	0,04	0,04

Temperatuuriindeks saadakse temperatuurivälja tarkvara arvutustes kasutatud sise- ja välistemperatuuri ja minimaalse sisepinna temperatuuri abil:

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (2.1)$$

- $f_{Rsi}$  temperatuuriindeks, -;
- $t_{si}$  minimaalne sisepinna temperatuur, °C;
- $t_i$  sisetemperatuur, °C;
- $t_e$  välistemperatuur, °C;



Esitatud arvutusnäites on kasutatud temperatuurivälja tarkvara THERM 7.3. Arvutustes määrati kõikidele pindadele temperatuurid ja soojustakistused (Tabel 2.3) ning materjalide soojuserijuhtivused (Tabel 2.4). Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati soojusvool läbi tarindite liitekohtade, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Tabel 2.4 Arvutustes kasutatud materjalide omadused.

Materjal	Soojuserijuhtivus $\lambda_U$ , W/(m·K)
Alumiinium	160
Teras	50
Raudbetoon	2,3
Polümeer-tsement (s.h. montaaži) segu (vuukides)	2,0
Müüritis silikaattellistest	1,1
Klaas	1,0
Krohv, mört	0,80
Müüritis keraamilistest tellistest	0,80
Asfaltbetoon	0,70
Kergbetoonribi (1-464Д)	0,60
Polüvinüülkloriid, PVC	0,50
Silikoon	0,35
Tihendid (EPDM)	0,25
Kipsplaat	0,23
Vahtsilikaaltsiit	0,20
Bituumen	0,17
Vahtkukermiit	0,16
TEP-plaat	0,16
Šlakk (räbu)	0,15
PT isolaatorid	0,15
Puit	0,13
Tsementfibroliitiplaat (TEP-plaat; paneeli sidemetega)	0,16
Tsementfibroliitiplaat (TEP-plaat)	0,10
Vahtkumm	0,060
Mineraalvill „vana“	0,055
Vahtpolüstüreen, EPS „vana“	0,045
Mineraalvill „uus“	0,040
Vahtpolüstüreen, EPS „uus“	0,040

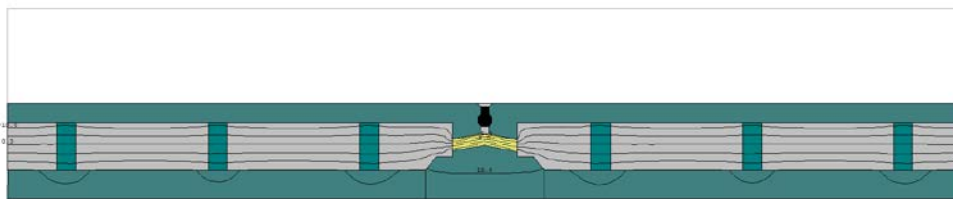
Kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutuses tuleb raudbetoonpaneeli sisemise ja välimise raudbetoonkihi vahelised sidemed arvesse võtta korrigeerides raudbetoonpaneeli soojustuse soojuserijuhtivust:

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{l_{td}}{L_{2D}} - R_{si} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j} - R_{se}} \quad 2.7$$

kus:

- $\lambda$  soojuslikult mittehomogeense ehk külmasillaga kihi redutseeritud soojuserijuhtivus, W/(m·K).
- $d$  soojuslikult mittehomogeense kihi paksus, m;
- $l_{td}$  arvutusulatuse pikkus, m;
- $L_{2D}$  kahemõõtmelise arvutuse tulemusel leitud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu, W/(m·K);
- $d_j$  tarindi osaks oleva homogeense kihi paksus, m;
- $\lambda_j$  nimetatud homogeensete kihtide soojuserijuhtivus, W/(m·K).

Järgnevas arvutusnäites on esitatud 2,52 m laiuse raudbetoonist välisseinapaneeli (Joonis 2.39) soojustuse redutseeritud soojuserijuhtivuse arvutus.



Joonis 2.39 Arvutusnäites kasutatud välisseinapaneelide püstvuugi lahendus.

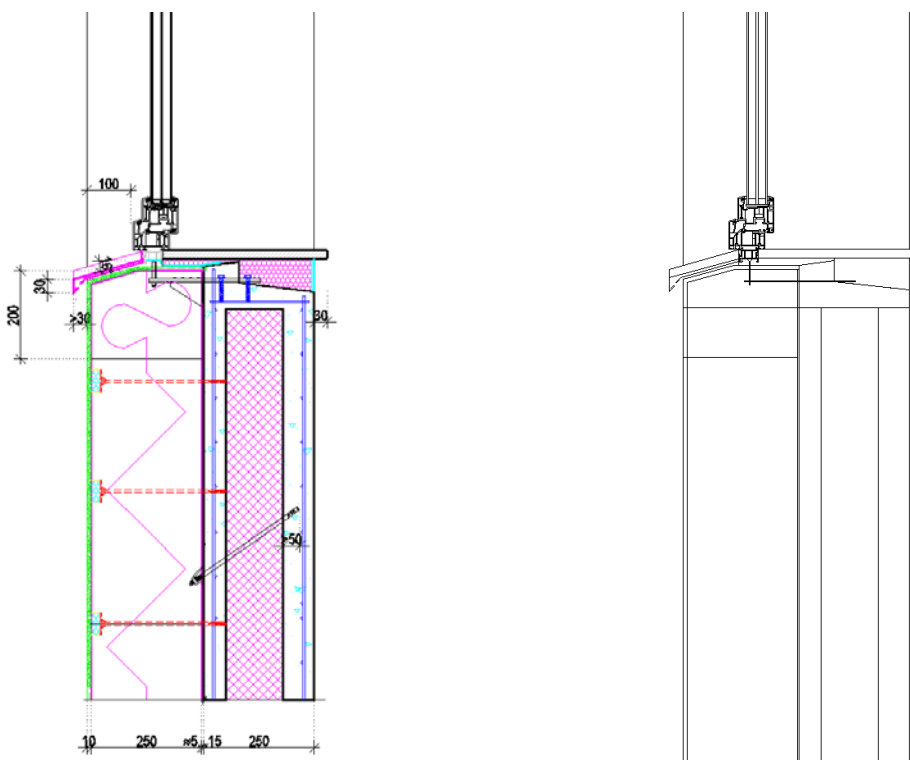
Kogu arvutusulatust (2,52 m) läbiv soojuserikadu saadakse temperatuurivälja arvutusest:  $L_{2D} = 2,528 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

Valemi 2.7 abil arvutatakse välisseinapaneeli soojustuse soojuserijuhtivus:

$$\lambda' = \frac{0,125}{\frac{2,52}{2,528} - 0,13 - \frac{0,05}{2,1} - \frac{0,075}{2,1} - 0,04} = 0,16$$

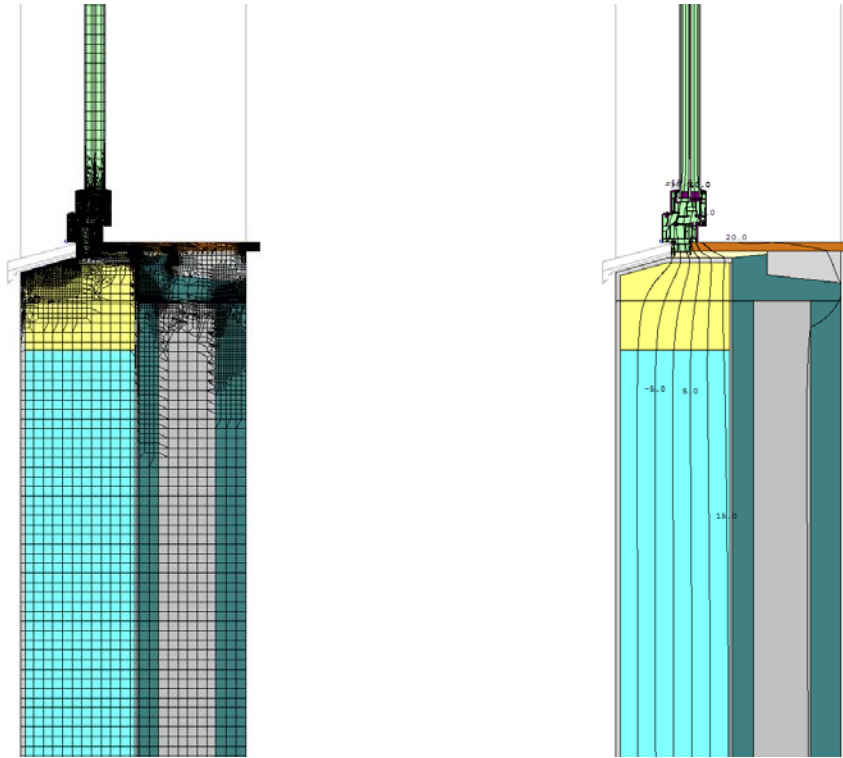
Sama moodi leitakse ka puitsõrestikseina soojustuse redutseeritud soojuserijuhtivus, mis on läbi sõrestikupostide toimuva soojusvoo tõttu suurem.

Arvutatava liitekohta saab temperatuurivälja tarkvarasse sisse joonestada otse või kasutades selleks alusjoonist (Joonis 2.40). Alusjoonise kasutamine lihtsustab oluliselt tööd ja vähendab vigu. Sõltuvalt kasutatavast tarkvarast on võimalik alusjoonise tarkvarasse sisestamisel määrata ära ka moodustavate materjalide ristlõiked.

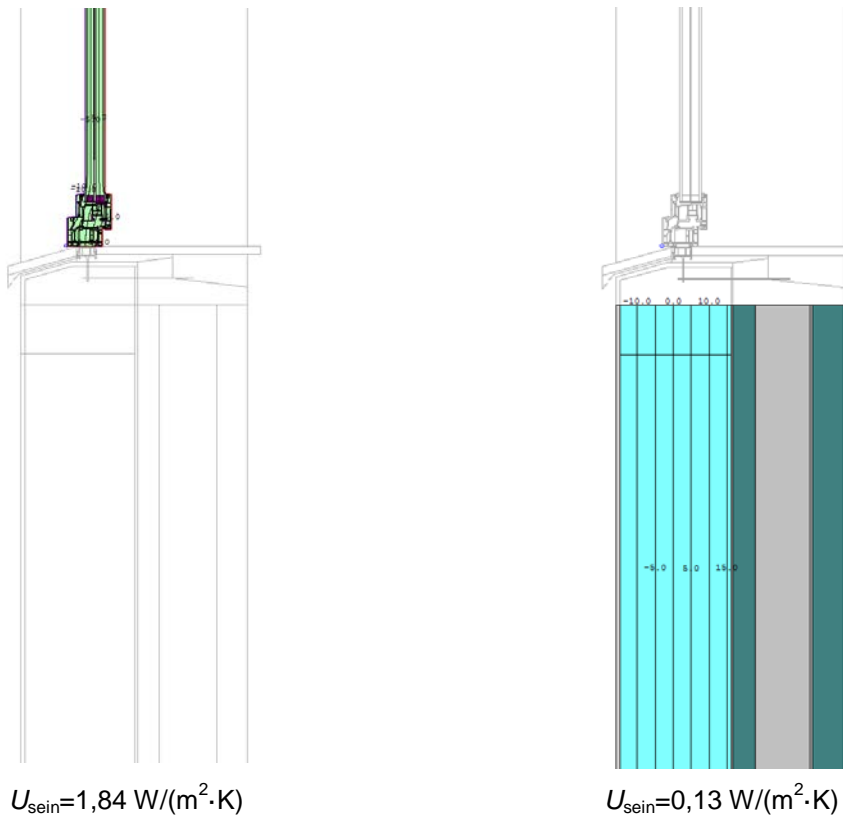


Joonis 2.40 Arvutusnäites kasutatava akna ja välisseina liitekohta renoveerimislahendus (vasakul) ning temperatuurivälja arvutuses kasutatav alusjoonis (paremal).

Tehes arvutatavale sõlmele detailse arvutusvõrgu, arvutab temperatuurivälja tarkvara sõlmepunktide vahel toimuva soojuslevi ja selle abil temperatuuri üle kogu kahemõõtmelise sõlme (Joonis 2.41). Arvutusvõrk on tihedam seal, kus materjali geomeetria muutus on suurem.



Joonis 2.41 Arvutusnäites kasutatava akna ja välisseina liitekohta detailne arvutusskeem (vasakul) ja arvutustulemuseks saadudu temperatuuride jaotus (paremal).



Joonis 2.42 Arvutusnäites kasutatava akna (vasakul) ja välisseina (paremal) temperatuurijaotus ilma liitekohta mõjuta.

Akna ja välisseina liitekohta joonsoojusläbivuse saab arvutada valemi 2.8 abil

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x, \text{ W/(m}\cdot\text{K)} \quad 2.8$$

kus:

$\Psi_j$  tarindite liitekohta joonsoojusläbivus, W/(m·K).

$L_{2D}$  kahemõõtmelise arvutuse tulemusel leitud tarindi arvutusulatus soojuserikadu, W/(m·K);

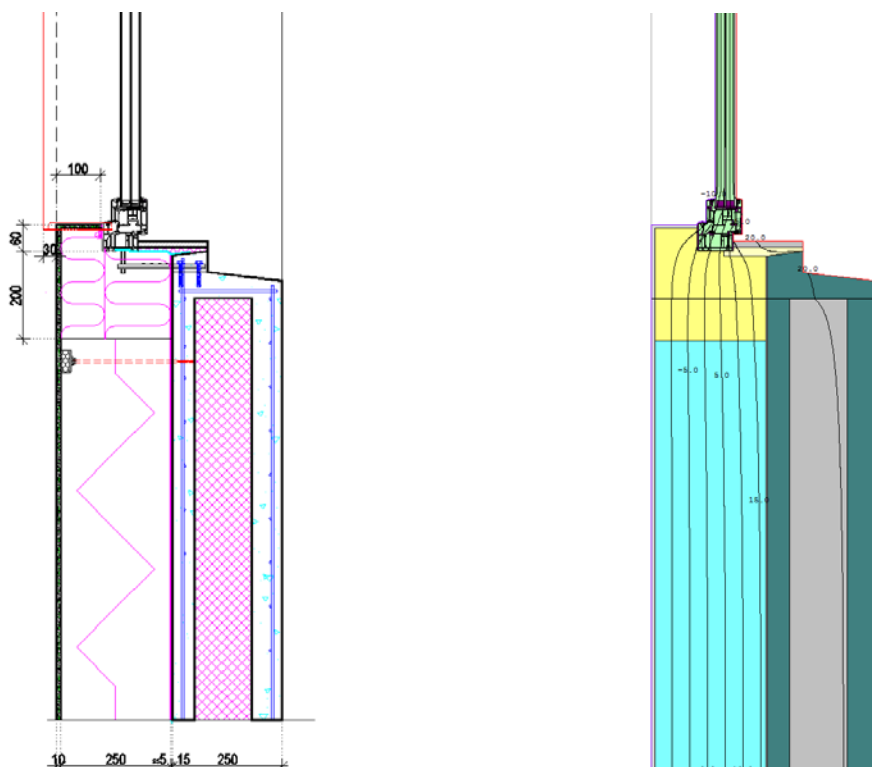
$U_x$  liitekohta moodustavate hooneosade ja tarindite soojusläbivus, W/(m<sup>2</sup>·K);

$b_x$  liitekohta moodustavate hooneosade ja tarindite arvutusulatus pikkus, m;

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x = 1,628 - (0,1369 \cdot 1,635 + 1,845 \cdot 0,702) = 0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Kui soojustuse saab viia aknapaalele (ülal ja külgedel, Joonis 2.43), siis akna ja seina liitekohta joonsoojusläbivus väheneb oluliselt:

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x = 1,525 - (0,1369 \cdot 1,635 + 1,845 \cdot 0,702) \leq 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Joonis 2.43 Soojustuse viimine aknapaalele vähendab oluliselt akna ja seina liitekohta joonsoojusläbivust.

Arvutustulemused on otstarbekas esitada Exceli tabelarvutuse kujul, vt. Joonis 2.44.

<b>Tarkvara:</b>			
<b>Kuupäev:</b>			
<b>Autor:</b>			
<b>Välissein-akna liitumine akna allosas</b>			
<b>Lähteandmed</b>	$R_{s, m^2 \cdot K/W}$	$h_{s, W/(m^2 \cdot K)}$	$\theta, ^\circ C$
Välispind (välisõhk)	0.04	25.0	-15.0
Välispind (pinnas)	0	1000	7.0
Sisepind. Joonsoojuslähivuse arvutuseks			
- Horisontaalne soojusvoog (sein)	0.13	7.7	21.0
- Soojusvoog üles (lagi)	0.1	10.0	21.0
- Soojusvoog alla (põrand)	0.17	5.9	21.0
Sisepind. Külmasilla kriitilisuse hindamiseks			
- Horisontaalne soojusvoog (sein)	0.25	4.0	21.0
- Soojusvoog üles (lagi)	0.1	10.0	21.0
Sise- ja väliskesk. temperatuuride vahe, $\theta_i - \theta_e$			36.0 K
<b>Liituvate tarindite soojuslähivused</b>			
1. liituv tarindi soojuslähivus, $U_1$			0.1369 W/m <sup>2</sup> K
2. liituv tarindi soojuslähivus, $U_2$			1.845 W/m <sup>2</sup> K
<b>Liituvate tarindite arvutusulatus (arvutusmudelid)</b>			
1. liituv tarindi arvutusulatus, $l_{i1}$ (sisemõõdud)			1635 mm
1. liituv tarindi arvutusulatus, $l_{e1}$ (välismõõdud)			1635 mm
2. liituv tarindi arvutusulatus, $l_{i2}$ (sisemõõdud)			702 mm
2. liituv tarindi arvutusulatus, $l_{e2}$ (välismõõdud)			702 mm
<b>Tarindite liitekohade arvutusulatust läbiv soojusvool, <math>\Phi</math></b>			59 W
<b>Madalaim sisepinna temperatuur</b>			11.7 °C
<b>Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojuslähivused</b>			
Liituvate tarindite arvutusulatuse soojuserikadu (2D arvutusest), $L_{2D}$			1.628 W/(m·K)
Liituvate tarindite arvutusulatuse ligikaudne (1D) soojuserikadu (sisemõõdud), $U_1 \times l_{i1} + U_2 \times l_{i2}$			1.519 W/(m·K)
Liituvate tarindite arvutusulatuse ligikaudne (1D) soojuserikadu (välismõõdud), $U_1 \times l_{e1} + U_2 \times l_{e2}$			1.519 W/(m·K)
<b>Tarindite liitekohade joonsoojuslähivus <math>\Psi_1</math> (sisemõõdud)</b>			0.109 W/(m·K)
<b>Tarindite liitekohade joonsoojuslähivus <math>\Psi_2</math> (välismõõdud)</b>			0.109 W/(m·K)
<b>Tarindite liitekohade sisepinna minimaalne temperatuuriindeks <math>f_{Rsi}</math></b>			0.742
Eestis on elamute tarindite temperatuuriindeksi piirsuuruseks $f_{Rsi} > 0,8$ .			
Eestis on elamute akna temperatuuriindeksi piirsuuruseks $f_{Rsi} > 0,7$ .			

Joonis 2.44-1 Akna ja välisseina liitekohade arvutustulemuste esitus tabelina.

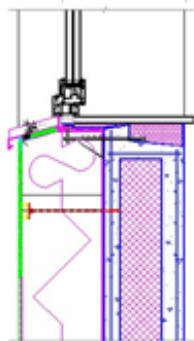
Tarkvara:

Kuupäev:

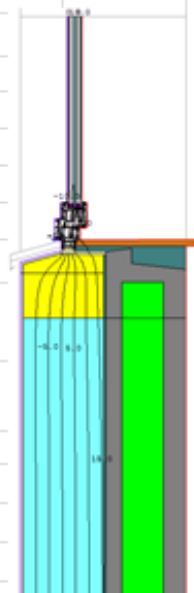
Autor:

## Välissein-akna liitumine akna allosas

### Liitekohta sõlm M1:20



### Temperatuurivälja joonis M1:20



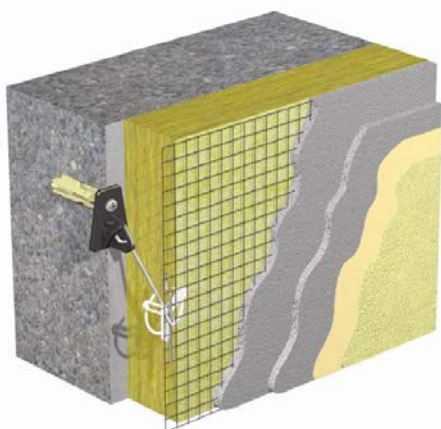
Joonis 2.44-2 Akna ja välisseina liitekohta arvutustulemuste esitus tabelina.

## 2.2.4 Piirdetarindite lisasoojustamisega seotud aspektid

Vasvavalt käesoleva töö lähteülesandele on käesolevas töös kaks välisseinte lisasoojustamise ja fassaadikatmise põhilahendust:

- krohvitud soojustus (mineraalvill või vahtpolüstüreen soojustus);
- puit- või metallisõrestik vahel soojustus + tuuletõke + tuulutusvahega fassaadikate (näiteks tsementkiudplaat, kerged fassaadikivid vms.).

Lisaks nendele lahendustele võib hoonete renoveerimisel kasutada ka muid lahendusi ja materjale. Praeguse töö joonistel esitavad materjalivalik ei ole lõplik. Näiteks krohvitud soojustuse puhul võib soojustuseks olla nii mineraalvill (kivivill, klaasvill), kui ka vahtplast (vahtpolüstüreen, vahtpolüuretaan vms.). Oluline on, et materjalivalik oleks omavahel süsteemselt kooskõlas, oleks tagatud niiskuskahjustuste vältimine ning sõlmede niiskustehniline toimivus. Tugevdatud krohvikihiti tuleb kasutada fassaadi allpool, et vältida tahtlikku või tahtmatut krohvi kahjustumist.



Joonis 2.45 Krohvitud soojustus võib olla ehitatud nii mineraalvillast (kivivill, klaasvill (vasakul ([www.e-weber.fi](http://www.e-weber.fi), [www.isover.ee](http://www.isover.ee))) või vahtplasti baasil (vahtpolüstüreen, vahtpolüuretaan vms.).

Kergsõrestiku baasil lahendatud lisasoojustuse korral on vajalik fassaadikatte taga välisõhuga tuulutatav õhkvahe. Kui kasutatakse horisontaallroove, peavad need olema õhu liikumist võimaldavad, Joonis 2.46 vasakul.

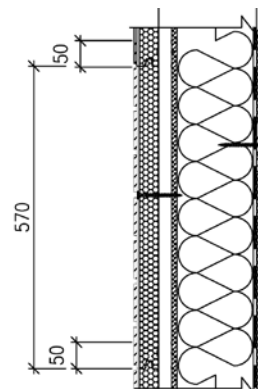
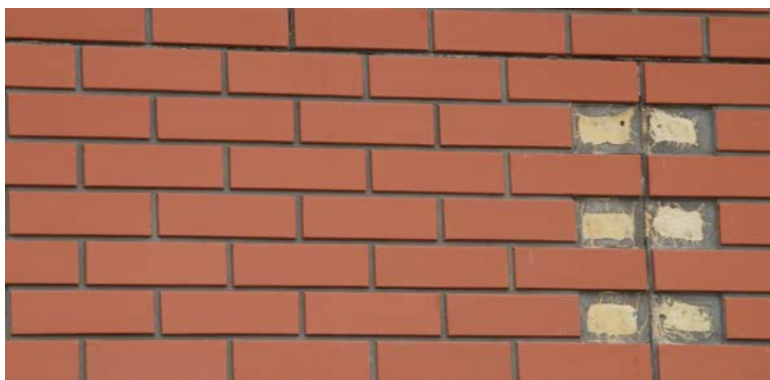


Joonis 2.46 Horisontaalroovide kasutamise peavad need olema perforeeritud (vasakul) või tuleb kasutada topeltroovitus (paremal) et tagada vajalik õhkvahe fassaadi taga.

Sõlmejoonistel esitatud lahendustel on kergsõrestiku korral kasutatud fassaadikatteks tsementkiudplaati. Lisaks sellele materjalile on veel palju muid lahendusi ja lõplik valik selgub projekterija ja tellija koostöös. Kui tellishoonel on soov säilitada tellisimitatsiooni



ka renoveerimise järgselt, siis selleks on lisaks uuele tellisvoordile ka sõrestikule riputatavaid lahendusi, vt. Joonis 2.47.



Joonis 2.47 Kivipinnaga ja vahtpolüuretaanist soojustuskihiga armeeritud liitpaneelile baseeruv viimistlus- ja soojustussüsteem (vasakul) säilitab hoonele omase tellisfassaadi. Tuulutusvahega paigalduse põhimõttelahendus (<http://www.rake.ee> baasil)

Tellisimitatsiooniplaate on proovitud liimida ka otse krohvitud soojustusele, aga ilma süsteemse ja katsetatud lahenduseta ei ole sellise lahenduse kestvus pikaajaline, Joonis 2.48. Sarnaselt krohvitud soojustusele on siingi vaja pikaajalisi katsetusi ja ehitustoote toimivuse püsivuse sertifikaat (CE, ETA vms).



Joonis 2.48 Mahakoornud keraamilise tellise imitatsiooniplaadid krohvitud soojustusel.

Lisaks käesoleva töö lähteülesandes toodud sõlmedele, mille kohta on esitatud sõlmede joonised, on projekteerimise käigus veel mitmeid kriitilisi kohti, mis vajavad detailseid sõlmejooniseid ja täpsemat projekteerimist. Üldjuhul on nendeks kohtadeks näiteks ventilatsioonišahti liitumine katuslaega, välimiste ventilatsioonitorude toetus katusele, fassaadi paigaldatavate ventilatsioonitorude läbiviik parapetist, mitmesugused kinnitused fassaadile, lodžade ja rõdude erilahendused jne. Ka nendele liitekohtadele on vaja projekteerida tööjoonise tasemel detailisõlmed.

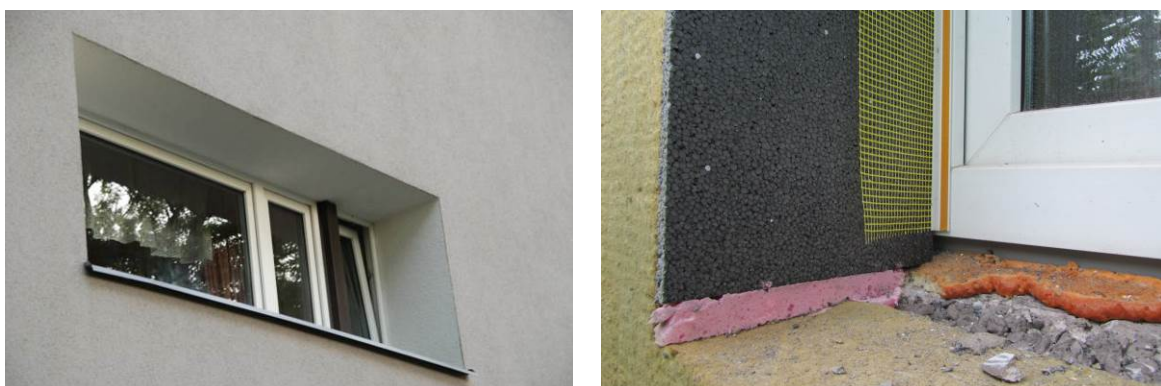
Välisseinale uue lisasoojustuse paigaldamisel on üldjuhul vaja teha järgmised tööd:

- aknad tuleb paigaldada oma endisest asukohast lisasoojustuse tasapinda;
- lodža puhul tuleb rajada lodža ette uus soojustatud välissein (endine välissein jääb siseseinaks);
- olemasolevad rõdud tuleb asendada eraldiseisvale vundamendile toetatud postidele kinnitatud rõdudega;
- vana fassaad tuleb täiendavalt fikseerida välisseina kandva osa külge;
- tehases eelvalmistatud soojustuspaneelide kasutamine;
- niiskuskahjustuste vältimine;
- renoveeritud lahenduste kestvus ja garantii.



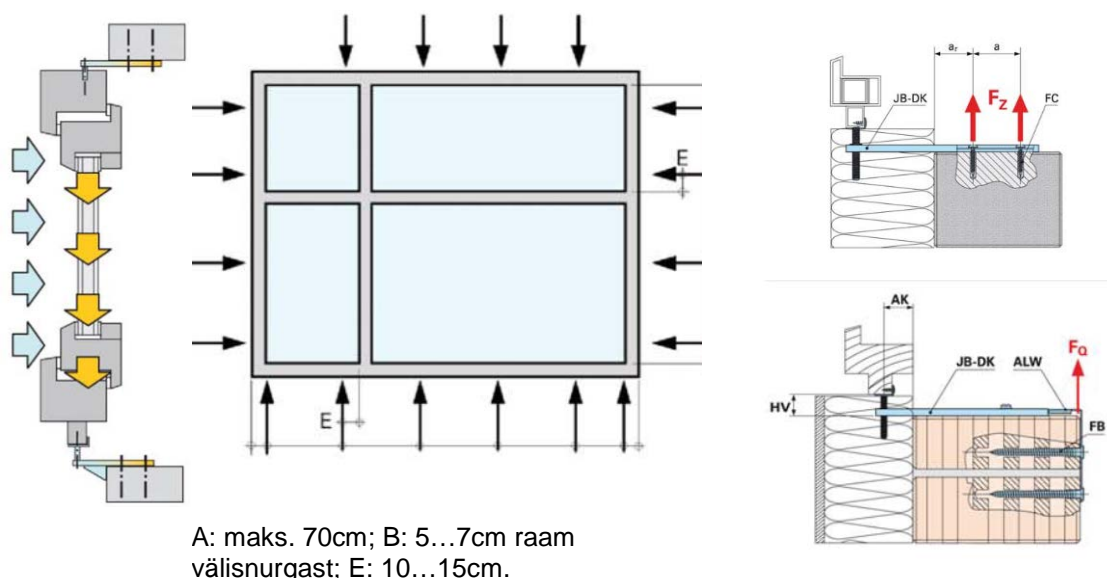
## Akende paigaldamine lisasoojustuse tasapinda

Akende paigaldamine olemasolevast asukohast lisasoojustatava seinä välispinda, lisasoojustuse tasapinda on põhjustatud eelkõige asjaolust, et muidu jäävad aknad „auku“ ja rikutakse hoone välisilme (Joonis 2.49, vasakul) ning ei saa likvideerida akna ümber olevat külmasilda, kuna fassaad katab aknaraami ja soojustuse paigaldamiseks ei ole piisavalt ( $> 5...7$  cm) ruumi (Joonis 2.49, paremal). Tihti tuleb arvestada ka varem väljavahetatud akende asendamisega, sest vanade akende soojuslähivus on suur ja neid ei ole mõistlik jätta alles terviklikult renoveeritud hoonesse. Hoone fassaad ulatub akna välisraamile ja sama raami ei ole võimalik välja tõsta, kuna siis ei hakka aken enam avanema.



Joonis 2.49 Kui seinä lisasoojustamisel jätta aknad oma endisesse asukohta, rikutakse hoone arhitektuurne välisilme, sest aknad jäävad liialt „auku“ (vasakul) ja ei saa likvideerida akna ümber olevat külmasilda (Joonis 2.5, Joonis 2.25), kuna fassaad katab aknaraami ning soojustuse paigaldamiseks ei ole piisavalt ( $> 5...7$  cm) ruumi.

Akna paigaldamisel soojustuse tasapinda kinnitatakse see seinale kronsteinidega (vt Joonis 2.37) ning tihendatakse seestpoolt aurutõkketeibiga ja väljastpoolt hüdroisolatsiooniteibiga (vt Joonis 2.38).



Joonis 2.50 Aknakinnitusele mõjuvad koormused ja aknakinnituste paigutus (SFS Intec 2013)

Kuigi akna paigalduse süsteeme on palju, on käesolevas juhendis esitatud vaid üks lahendus. Kinnituselementide valikul tuleb lisaks ehitusfüüsikalistele asjaoludele (vt ptk 2.2.3 Akna ja raudbetoonpaneelist välisseina liitekohta soojusliku toimimise arvutusnäide lk 25) tähelepanu pöörata ka omakaalu-, tuule- ja kasutuskoormuste ning võimalike lisakoormuste (rulood, sirmid jne) ning deformatsioonide vastuvõtmisele. Ehitusprojekti

tuleb määrata konkreetne akna kinnituse lahendus (Joonis 2.40). Selle väljatöötamisel võivad projekteerijal abiks olla kinnitussüsteemide tootejuhised (Joonis 2.50). Ei piisa sellest, kui ehitusprojekti kirjutatakse, et paigaldada vastavalt tootejuhistele, vaid ehitaja peab kõik ehitamiseks vajamineva info leidma ehitusprojektist.

Aknaplekk peab ulatuma fassaadikatte alla külgedelt ja aknaga liitumisel aknaraami alla, (Joonis 2.51). Aknaplekk peab olema piisava kaldega ( $> 1/2, 5$ ), üleulatusega seina tasapinnast (30...50 mm) ja allapööratud (~30 mm) esiservaga, mille ots on tagasi üles pööratud. Sadevee sattumist aknapleki alla välditakse vastuplekiga või aknapleki aluse soojustuse krohvimisega ja vastava tihendi paigaldamisega.

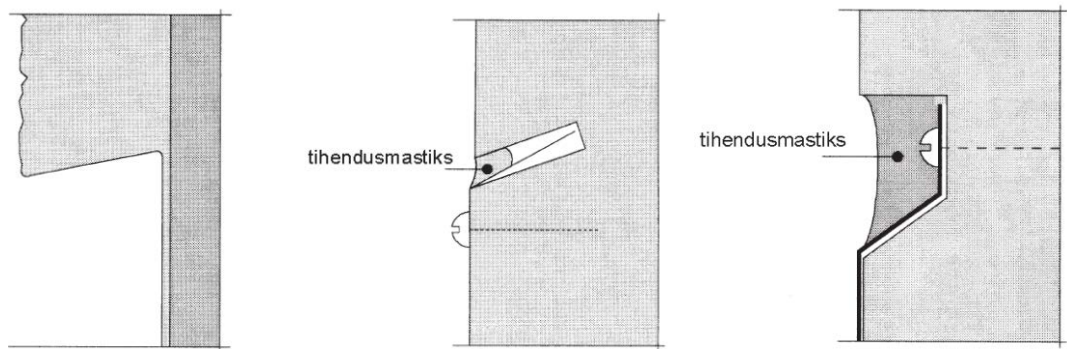
Aknaplekkide paigaldamisel esineb palju vigu. Tüüpilised vead on toodud Joonis 2.51.



Joonis 2.51 Tüüpilised vead aknapleki paigaldamisel: aknaplekk ei ulatu otstest fassaadikatte alla (ülal vasakul) ega akna aknaraami alla (ülal paremal); aknaplekk ei ulatu piisavalt üle seina või ei ulatu üldse seinale; (keskel vasakul); krohv ulatub aknapleki ja seina liitumiskohas on praod, kust vesi saab seina valguda (ülal ja all vasakul). Krohvimise ajal on aknaplekk määrdunud (all paremal).



Joonis 2.52 Aknaplekk peab ulatuma fassaadikatte alla külgedelt ja aknaga liitumisel aknaraami alla. Alumistel fotodel on aknapleki kalle liiga väike.



Joonis 2.53 Aknapleki otsa lõpetus krohvi alla (vasakul) või tihendatuna seinas olevasse faasi (keskel, paremal); vt. täpsemalt Ruukki paigaldusjuhendid, RT 39-10422 Rakennuksen peltityöt, yleisiä ohjeita, RT 41-10110 Ikkunan vesipellit, RT 80-10632-et Ehitise kaitseplekid.



## Lodža lisasoojustamine

Lodža on hoone gabariidi sisse jääv väljaspool korterit asuv kaitsepiirdega ümbritsetud platvorm. Sarnaselt rõduga sisaldab lodža konstruktsiooniline lahendus palju külmasildu, mis oluliselt suurendavad soojuskadu läbi hoone piirdetarindite. Välisseinte lisasoojustamine peab hõlmama ka lodža seinu (valesti soojustatud välisseinad Joonis 2.54, vasakpoolne foto). Kinniehitatud lodža lisasoojustamata välisseinte sisepindu hakkab suure tõenäosusega kahjustama hallitus (Joonis 2.54 paremal). Probleem on eriti tõsine ka seetõttu, et kui korteri tuulutamine toimub lodža kaudu, siis õhuvooluga kantakse hallituseosed ka ruumidesse.

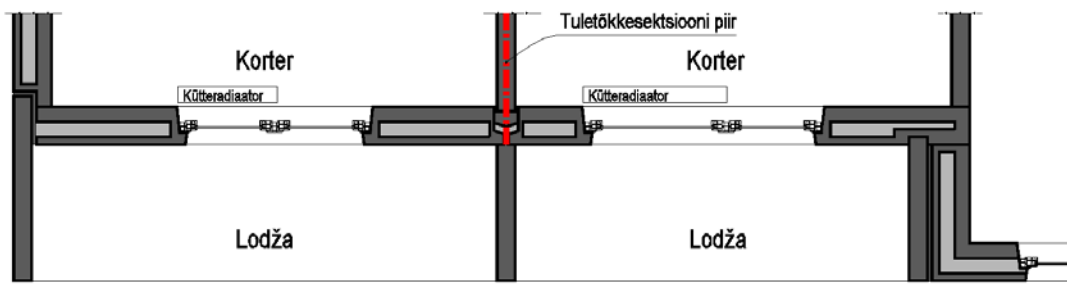


Joonis 2.54 Välisseinte lisasoojustamine peab hõlmama ka lodža seinu (valesti soojustatud vasakpoolsel fotol). Intensiivne hallituse kasv soojustamata seintega lodža sisepindadel (paremal).

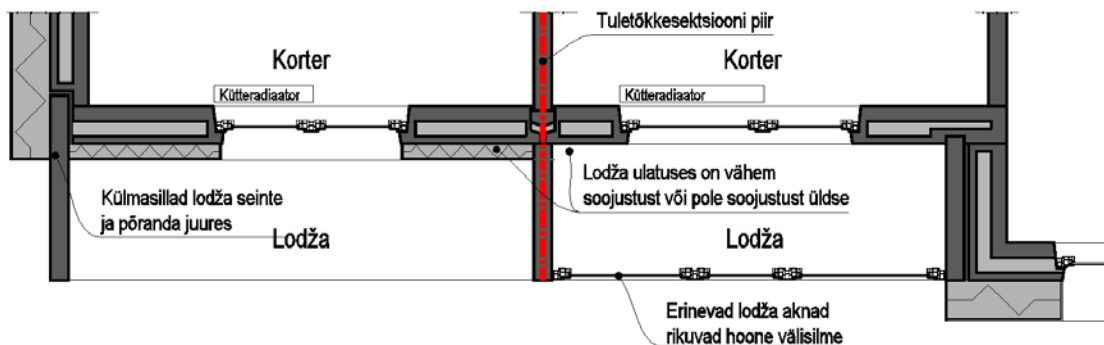
Joonis 2.55-l on näha üsna tüüpilised raudbetoon-suurpaneelilamu nurgapealse ja fassaadi keskel oleva lodža konstruktsioonilahendused. Välisseina liitekohtades on näha palju külmasildu (vt ka Joonis 2.2, paremal). Varem renoveeritud hoonetel võib näha palju selliseid ehituslahendusi, mis praeguse teadmise kohaselt on vigased (Joonis 2.56): lodža ulatuses on välissein soojustamata või soojustatud õhemalt, lodža vaheseinte ja põranda liitekohtades pole külmasildu likvideeritud, lodžad on kinni ehitatud ühtset arhitektuurilist lahendust järgimata jne. Hoone tervikrenoveerimise puhul on parim lahendus ehitada lodžad kinni soojustatud, köetavaks ruumiks (Joonis 2.57). Lodža käsipuupiirde võib eemaldada või võimalusel kasutada seda soojustuse paigaldamiseks (tagades ka vajaliku kandevõime ja kestvuse). Sõltuvalt küttesüsteemist muutub lodža siis korteri eluruumi osaks (kütteradiaatorid lodžal) või poolsoojaks ruumiks, mida kütab soojuskadu korterist (radiaator asub oma vanas kohas). Joonis 2.58-l on toodud eeskujulikult tervikrenoveeritud korterelamu, kus aknad on paigaldatud soojustuse tasapinda, lodžad on ühtse lahenduse alusel kinni ehitatud. Hoone tehnilised näitajad muutuvad, kuna köetav pindala suureneb. Selle fikseerimiseks on kaks põhimõttelist võimalust:

- lodža pindala jääb abipinnana juriidiliselt ühispinnaks. Sellisel juhul hoone omandisuhte osakaal ei muutu (Joonis 2.57 paremal);
- lodža pindala muudetakse korteri eluruumi osaks (Joonis 2.57 vasakul). Sellisel juhul tuleb hoone omandisuhte muutus kanda sisse ka kinnistusraamatusse.

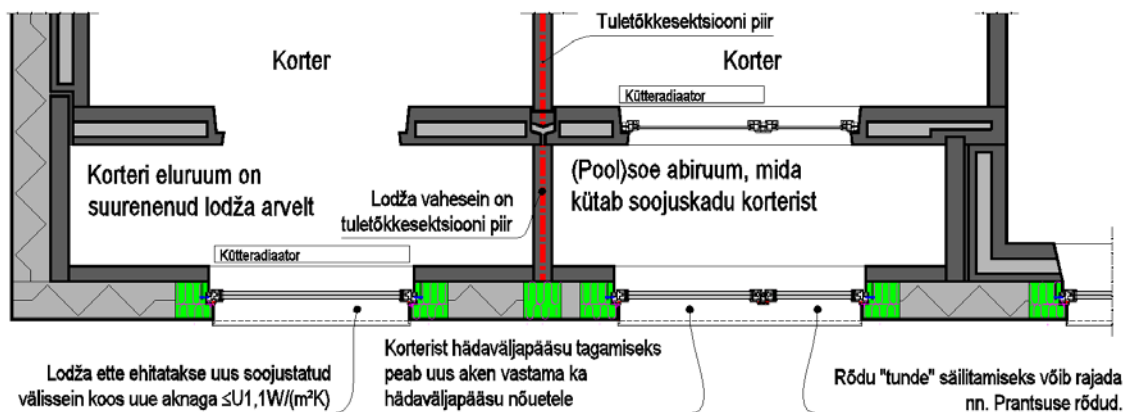




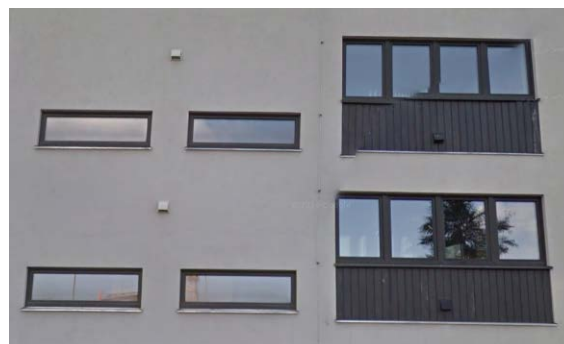
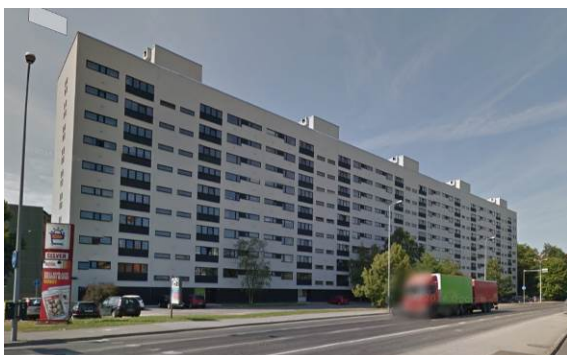
Joonis 2.55 Raudbetoon-suurpaneelilamu lodža konstruktsioonielemendid enne tervikrenoveerimist.



Joonis 2.56 Probleemsed lodža lisasoojustamise lahendused.



Joonis 2.57 Sama moodi nagu välisseinad tuleb soojustada ka lodža ja rõdu välissein.



Joonis 2.58 Eeskujulikult renoveeritud korterelamu: aknad on paigaldatud soojustuse tasapinda, lodžad on ühtse lahenduse alusel kinni ehitatud.

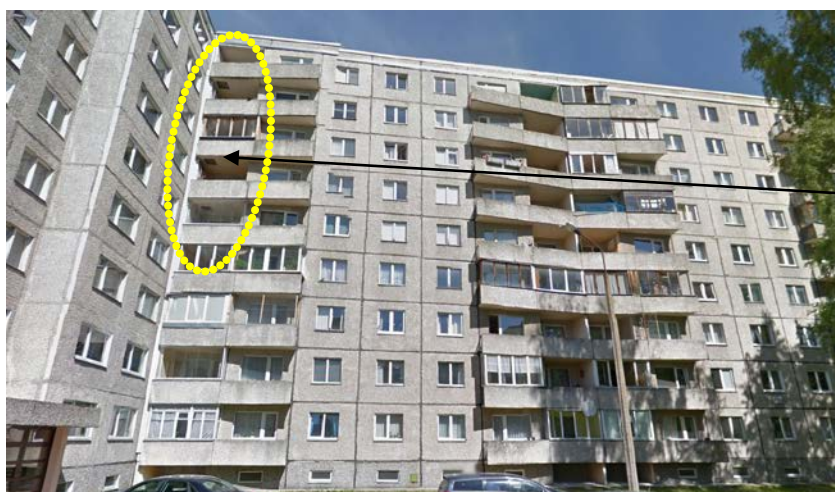
Korterelamute lodžade puhul on õldiselt tavapärane, et lodža ulatuses on ühe korteri ruumid ja erinevatesse tuleτόkkeseksioonidesse kuuluvate korterite vahel on tuleτόkkepiirdele vastav vahesein (Joonis 2.59, vasakul). Kui kinniehitatav lodža piirneb kahe tuleτόkkeseksiooniga (Joonis 2.59, paremal: trepikoda ja korter), tuleb tuleohutuse osas lahendada vähemalt:

- suitsuärastus trepikoja katusele paigaldatava suitsuluugi abil, kuna aknad ei avane enam utse õue;
- trepikoja valgustatuse tagamiseks (väheneb luumuliku valgustuse osakaal) kaaluda turvavalgustuse rajamist;
- aken trepikoja ja kinniehitatava lodža vahel peab olema tulepüsiv vastavalt hoone tuleohutusklassist tulenevatele nõuetele.



Joonis 2.59 Tüüpiline olukord, kus lodža ulatuses on üks korter ja erinevatesse tuleτόkkeseksioonidesse kuuluvate korterite vahel on tuleτόkkepiirdele vastav vahesein (vasakul). Kui lodža avaneb kahte tuleτόkkeseksiooni (paremal), tuleb tagada tuleohutus täiendavate abinõudega.

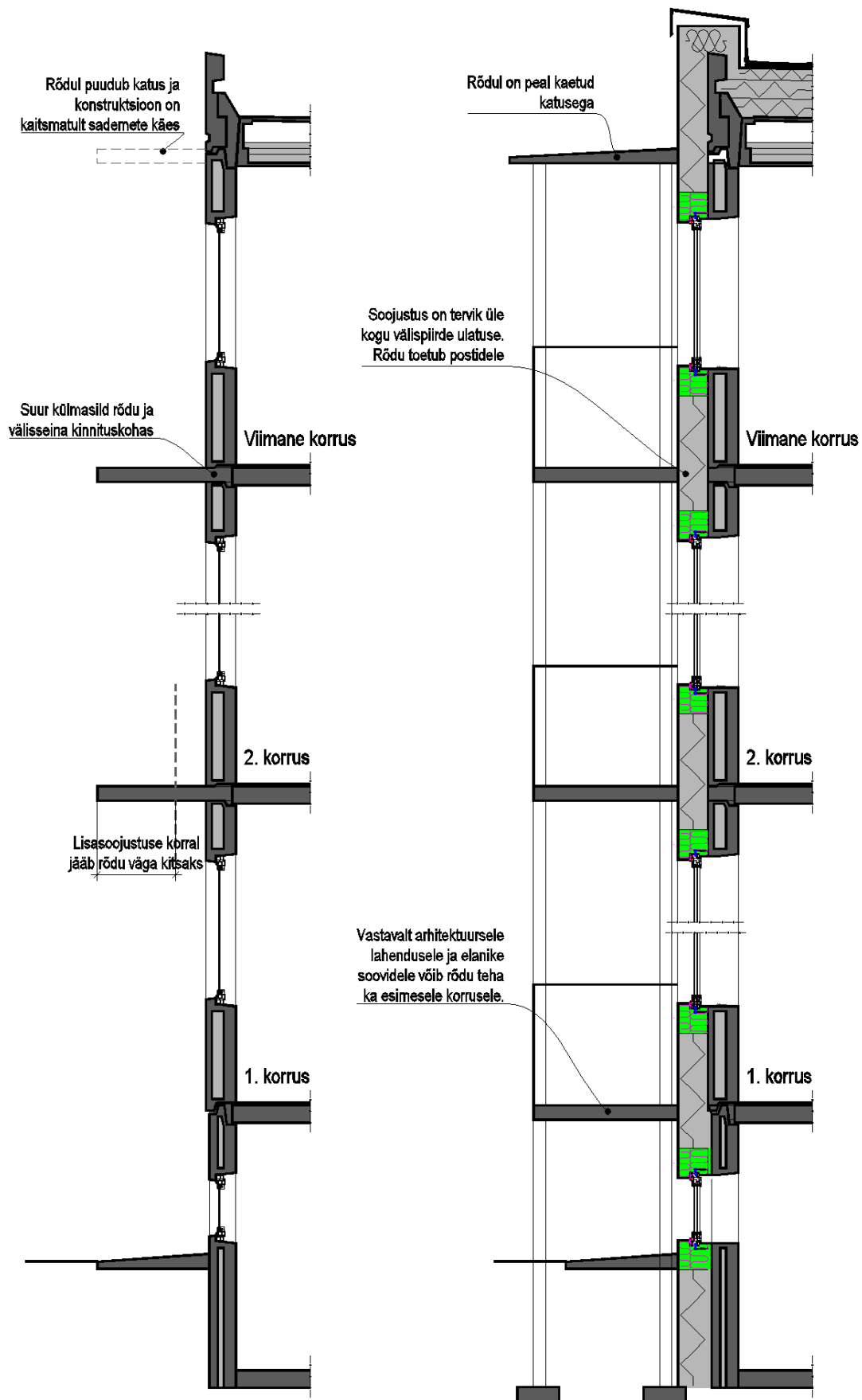
Hoonetel, kus korterite varuväljapääs on korraldatud lodža põrandates paiknevate luukide kaudu (eriti just 9-korruselised (ja kõrgemad hooned)) tuleb hädaväljapääs tagada lodža akna sobiva suurusega ja avamise tagamisega Joonis 2.60. Hädaväljapääsuks kasutatava valgusava kõrgus peab olema vähemalt 600 mm ja laius 500 mm ning kõrguse ja laiuse summa vähemalt 1500 mm, VV 2004. Hoone sisenurgas paiknevate, erinevasse tuleτόkkeseksiooni kuuluvate, korterite puhul tuleb vältida ka tule levik ühest korterist teise välisõhu kaudu. Nagu ka kõikide muude renoveerimise aspektide korral tuleb ka lodža kinniehitamisel tagada hoone turvalisus ja ohutus sh. tuleohutus. Tuleohutus lahendatakse ehitusprojekti tuleohutuse osas ja kooskõlastatakse tuleohutusjärelvalves.



Hoone esialgse projektlahenduse järgi kasutati hädaväljapääsuks lodža põrandas olevaid luuke, mille kaudu liiguti ülemistelt korrustelt alumistele.

Joonis 2.60 Lodža kinniehitamisel tuleb hädaväljapääs tagada lodža akna sobiva suurusega ja avamise tagamisega.

## Soojustust katkestavate rõdude asendamine

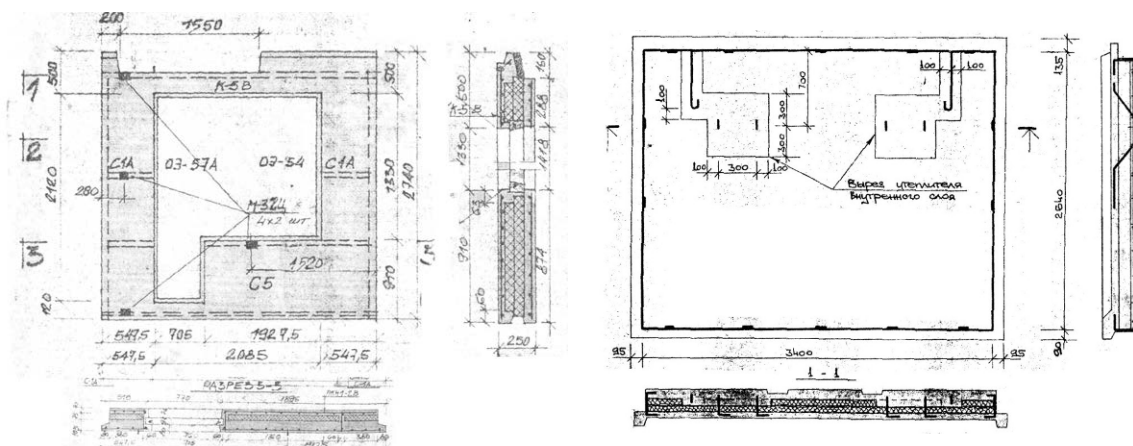


Joonis 2.61 Olemasolevate rõdude (vasakul) asendamise põhimõttelahendus (paremal).



## Fassaadi ankurdamine kandeseina külge

Raudbetoon-suurpaneelilamu väline betoonplaat on ankurdatud terrassidemetega kandeplaadi külge, Joonis 2.62. Telliselamutel on fassaaditellis ühendatud kandeseinaga kas terasest sidemetega või sidekividega.



Joonis 2.62 Seeria I-464A välisseinapaneeli ja Tartu Elamuehituskombinaadi uuema tüübi välisseinapaneeli kinnitused.

Hoone välisseinte lisasoojustamisel tuleb jälgida, et fassaadi kinnitussidemetele ei langeks täiendavat koormust, mille vastuvõtmiseks need pole projekteeritud. Täiendava koormuse võivad põhjustada:

- uus fassaadikate koos kandesõrestikuga;
- fassaadile kinnitavad objektid;
- paneelivuukide tihendamine jäiga materjaliga (tsementmört), mille tõttu võib ülemise paneeli koormus kanduda alumisele paneelile;
- paneelidesse avade tegemisega võidakse läbi lõigata ka kandesidemed, mistõttu langeb teistele sidemetele suurem koormus;
- vms.

Ka kinnitussidemete kandevõime võib aja jooksul väheneda. Kuigi terase korrosiooni vähendamiseks projekteeriti raudbetoonpaneelidel kinnitussidemed sissebetoneerituks (moodustades sellega ka suure külmasilla), on seinte avamised näidanud, et terrassidemed on hakanud korrodeeruma (Joonis 2.63).



Joonis 2.63 Seeria I-464A välisseinapaneeli väliskooritud kinnihoidvad sidemed on 45 aastaga hakanud juba korrodeeruma.

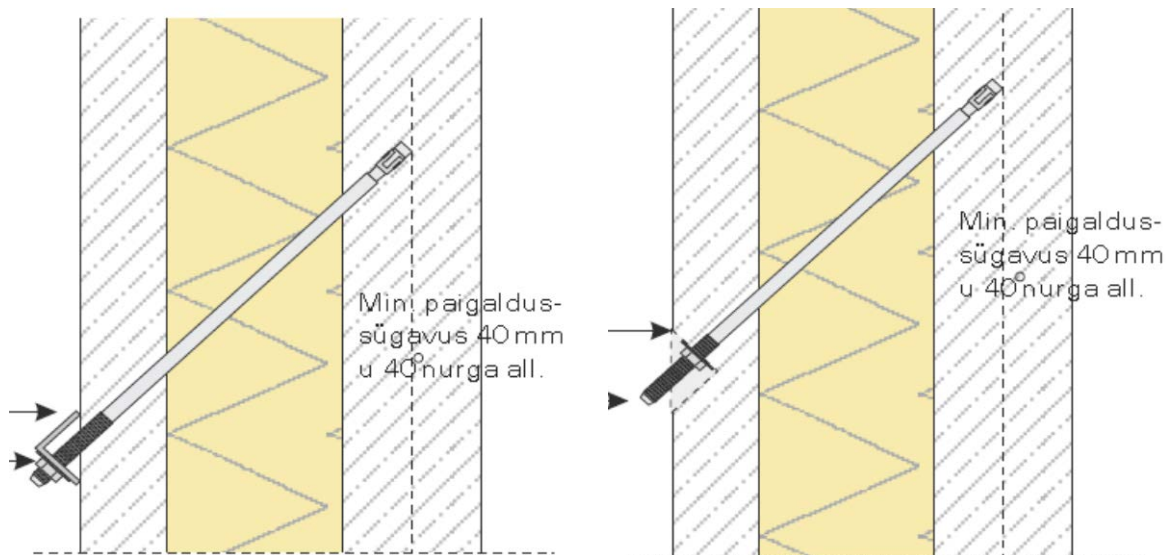
Eestis ei ole veel raudbetoonist välisseinapaneeli välimise kihi varinguid toimunud, kuid Soomes on olnud juhtumeid, kus väline fassaadiplaat on kandeseinast lahti tulnud (jJoonis 2.64, vasakul). Eestis on olnud probleeme tellisvoodri sidemete (eriti mustri tellissidemete) purunemise tõttu toimunud varingutega (Joonis 2.64, paremal). Suuremate kahjustuse korral tuleb arvestada kogu vana fassaadi eemaldamisega.





Joonis 2.64 Soomes hoone raudbetoon-suurpaneelist lahti tulnud väliskiht (Julkisivuyhdistys 1997). Sidekivide purunemise tõttu toimunud tellisfassaadi varing Eestis

Kuna fassaadisidemete olukorra kohta usaldusväärse info saamine eeldab põhjalikku uurimistööd, milleks ühistul puudub tavaliselt ressurss (aeg, maksumus), on käesolevas juhendis soovitatud tüüplahendusena ankurdata välisvooder kandeseina külge täiendavate kinnitusankrutelega. Fassaadikinnitid peavad olema roostekestast terasest (nt A2 = AISI 304). Kinnitusankrute esmase arvu saab määrata ankru kandevõime alusel, arvestades ka ankru kinnitust kandeseina. Kuna viimane on kandeseina omadustes varieeruv suurus, tuleb alati teha objektil projektijärgse väärtuse tagamiseks proovikoormamised. Konstruktsiooni kinnitustarvikud tuleb valida vastavalt kasutusotstarbele ja keskkonnamoormusele (korrosioon). Projekteerimisel on konkreetse toote valikul abiks kinnitusankrute tootetutvustused (Joonis 2.65).



Joonis 2.65 Fassaadi kinnitamine kandeseina külge täiendavate kiilankrute ja tuginurgikutega (vasakul) või puuritud faasiga (paremal) (SFS Intec 2005).

## Tehases valmistatud soojustuspaneelide kasutamine

Välisseinte ja katuste lisasoojustamine ehitusplatsil viib ehitusprotsessi pikaajaliseks, mistõttu hoone on mitu kuud tellingutes. Ehitusprotsessi on võimalik oluliselt lühendada ja lõppkvaliteeti parandada, kasutades soojustamisel tehases valmistatud moodulpaneele (Joonis 2.66).



Joonis 2.66 Eelvalmistatud moodulpaneelide kaudu hoonete lisasoojustamine ja renoveerimine (<http://www.empa-ren.ch/A50.htm>, <http://www.tesenergyfacade.com>, <http://www.paroc.fi/kampanjat/Innova-projekti>).

Nagu uusehitises nii ka renoveerimise puhul on võimalik industrialiseerimisega ehitustööde kvaliteeti parandada.

Välispiirdetarindid on lisasoojustatud eelvalmistatud modulelementidel, lahendusi ja pilootobjekte saab vaadata:

- IEA ECBCS Annex 50, Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings:
  - <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>
  - [http://www.empa-ren.ch/A50/Prefab\\_Retrofit.pps](http://www.empa-ren.ch/A50/Prefab_Retrofit.pps)
- TES EnergyFacade:
  - <http://www.tesenergyfacade.com/index.php>
  - <http://www.tesenergyfacade.com>

- [http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=4\\_downloads](http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=4_downloads)
- [http://www.tesenergyfacade.com/downloads/tkk\\_tes\\_loppuraportti\\_2009.pdf](http://www.tesenergyfacade.com/downloads/tkk_tes_loppuraportti_2009.pdf)
- Innova: <http://www.paroc.fi/kampanjat/Innova-projekti>
- BeBo (Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus)
  - <http://www.bebostad.se/kunskapsbanken/rationell-isolering-klimatskal/>:
  - <http://www.bebostad.se/wp-content/uploads/2014/11/Slutrapport-TURIK-2-2014-08-14-final.pdf>
  - [http://www.bebostad.se/wp-content/uploads/2014/02/Rapport-TURIK-etapp-1\\_2012-02-24.pdf](http://www.bebostad.se/wp-content/uploads/2014/02/Rapport-TURIK-etapp-1_2012-02-24.pdf)
  - <http://www.bebostad.se/wp-content/uploads/2014/09/Rapport-foerstudie-TURIK-2010-11-04.pdf>
- E2ReBuild: <http://www.e2rebuild.eu/en/Sidor/default.aspx>
- RetroKit project: <http://www.retrokitproject.eu/web/guest>
- MeeFS (Multifunctional energy efficient façade system for building retrofitting): <http://www.meefs-retrofitting.eu/project/retrofitting-facade-concept.html>
- ELEMENTUM eco AB: <http://www.elementumeco.se/foretaget/>

## 2.2.5 Niiskuskahjustuste vältimine

Hoone niiskustehniline seisund peab tagama tervisliku sisekliima ning vältima niiskus- ja hallituskahjustuste teket ning materjalide lagunemist. Piirdetarindid tuleb projekteerida ja ehitada selliselt, et oleks tagatud niiskustehniline turvalisus: hoone ei oleks otseselt või kaudselt niiskusest kahjustatud ja niiskusesisaldus ei ületaks kriitilist piiri, sh oleks tagatud niiskus- ja hallituskahjustuste ning materjalide lagunemise vältimine. Ehitamise ajal peavad niiskustundlikud materjalid, nagu näiteks märguvad soojustusmaterjalid, olema ilmastiku eest kaitstud. Viimistluskihtide ja -materjalide paigaldamisel peab aluspinna niiskusesisaldus olema väiksem kui kasutatava toote kriitiline niiskusesisaldus tootja andmetel. Kriitiline niiskusesisaldus sõltub materjalist ja selle määramisel lähtutakse tootja andmetest. Tootja andmete puudumisel võib kriitilise niiskusesisalduse piirväärtusena kasutada suhtelist niiskust 75% ja sellele vastavat materjali niiskusesisaldust massi- või mahuprotsentides.

Projekteerimise staadiumis tuleb niiskustehniline turvalisus tagada, osutades arvutuslikult vastavalt standarditele EVS-EN 15026 ja EVS-EN ISO 13788 või kasutades muid täiuslikumaid meetodeid. Valmisehitatud hoonel võib soojus- ja niiskustehnilise turvalisuse osutada, kombineerides mõõtmisi ja arvutusi: mõõdetakse tarindi soojuslik ja niiskuslik olukord kriitilises tsoonis vähemalt ühe aasta jooksul ning mõõtmistulemuste abil kalibreeritakse simulatsioonimudelid, millega tõendatakse soojus- ja niiskustehnilise turvalisuse vastavust arvutuslikele tingimustele. Hoone niiskustehnilise turvalisuse tagamise lähteandmed (kriitilised sise- ja väliskliima omadused, hindamiskriteeriumid jms) ja arvutustulemused tuleb esitada ehitusprojekti kõikides projekteerimisstaadiumites.

Piirdetarindid tuleb projekteerida ja ehitada selliselt, et sisepinna temperatuuriindeks ei langeks allapoole järgnevatest piirväärtustest:

- sisepindadel ja külmasildadel >0,80;
- aknaklaasidel ja –raamidil ning niiskuskindlal aknalaual >0,70.

Temperatuuriindeksi piirsuuruse tagamine tuleb tõendada projekteerimise põhiprojekti ja tööprojekti staadiumis standardi EVS-EN ISO 10211 ja EVS-EN ISO 10077 kohaselt ning valmisoleva ehitise puhul standardi EVS-EN 13187, ISO 10878 kohaselt mõõtmistega või kasutada selleks muid täiuslikumaid meetodeid.

Hoone piirdetarindi niiskustehnilise turvalisuse osutamisel tuleb lähtuda raskematest kliimakoormused, mis võiksid hoone kasutamisel esineda.

Kasutatavad välistemperatuuri parameetrid peavad olema hoone asukohta esindavad ja hõlmama kõige raskemaid ilmastikutingimusi, mille esinemine on võimalik kord kümne aasta jooksul. Osutades tarindi niiskustehnilist turvalisust EVS-EN ISO 13788 meetodiga, tuleb väliskliimana kasutada hoone asukoha minimaalseid kuukeskmisi väärtusi kütteperioodil ja nendele vastava aasta temperatuurinäitajaid ülejäänud ajal.

Pinnakondensaadi riski arvutamisel tuleb rakendada välisõhu madalaimat ööpäeva keskmist temperatuuri. Vastavad parameetrid on toodud ka standardis EVS-EN ISO 13788 Lisa NA (teatmelisa): Standardi EN ISO 13788 rakendamine hoonete projekteerimisel Eestis.

Osutades tarindi niiskustehnilist turvalisust EVS-EN 15026 meetodiga, tuleb kasutada tunnipõhist välistemperatuuri, mis on kriitiline analüüsitava probleemi suhtes 90% kvantili tasemel (10% on kriitilisemat olukorda).

Täpsemate andmete puudumisel projekteeritakse elamu piirdetarindid, lähtudes Tabel 2.5 toodud hoonesisestest niiskukoormustest. Kasutades niiskukoormuseks mõõtmisandmeid välisõhu temperatuuril  $< +5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , saadakse arvutussuurus keskmise niiskulisa korrutamise teguriga 2,0. Õhuniisutusega ruumides ja ruumides, kus tööprotsess tekitab suure niiskukoormuse, lähtutakse võimalikust suuremast niiskustootlusest ja väiksemast ventilatsiooni õhuvahetusest. Siseõhu niiskukoormus võib olla defineeritud suhtelise niiskusena, kui suhteline niiskus on reguleeritud (tehnosüsteemid tagavad õhu niisutuse ja kuivatuse), arvestades tehnosüsteemi mõõte- ja juhtimistäpsusega, või vähemalt  $\pm 5\%$  taotlustasemest suurema või väiksema suhtelise niiskusega, mis tagaks kriitilisema niiskukoormuse.

Sisetemperatuuriks kasutada ehitusprojekti andmeid, arvestades võimalikku kõrvalekallet taotlustasemest.

Tabel 2.5. Arvutusliku niiskulisa sõltuvalt välistemperatuurist.

Hoone/ruum	Arvutuslik niiskulisa, $\text{g}/\text{m}^3$	
	Välisõhu temperatuur <sup>1</sup> $< +5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Välisõhu temperatuur <sup>1</sup> $> +20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Niiskuklass 4: eriotstarbelised hooned, nt. pesumajad, pruulikojad, basseinid	8	3
<b>Niiskuklass 3: teadmata niiskukoormusega elamud. Eluruumid asustustihedusega kuni <math>30\text{ m}^2</math> inimese kohta</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Niiskuklass 2: eluruumid asustus- tihedusega üle $30\text{ m}^2$ inimese kohta	4	1
Niiskuklass 1: väga väikese niiskus- tootlusega uued mittelelamud: töö- j õpperuumid, jms.	2	0

Krohvitud soojustus on üks levinuimaid vanemate korterelamute lisasoojustuse lahendusi. Sellise soojustuse eelised seisnevad homogeenses soojustuses ja väikeses massis, mis ei vaja üldjuhul eraldi vundamenti. Krohvitud soojustus on niiskustehniliselt keerukas ja üsna veatundlik lahendus, kuna õhuke krohvi kiht soojustusel peaks ühtlasi kaitsma fassaadi ka vihma eest. Kaldvihma tingimustes küllastub krohv kiiresti veega, kuna krohvil on väike veeimavus- ja niiskussidumise võime. Krohvi pinnale tekib veekelme, mis hakkab mööda fassaadi alla voolama (Joonis 2.67, ülal vasakul). Kui krohvis olev vesi külmub, suureneb selle maht, mis lõhub krohvi (Joonis 2.67, all). Suurim vihmakoormus on seina ülaosale ja nurkades, kus on üldjuhul ka fassaadi/krohvi lagunemine kõige intensiivsem (Joonis 2.67, ülal paremal). Mööda fassaadi allavoolav vesi voolab pragudest krohvi taha ja soojustusse ning suurendab veelgi veekoormust seinale.

Eestis on palju hooned, kus krohvitud soojustus püsib ilma suuremate probleemideta. Et Kesk-Euroopa kliimatingimustes väljatöötatud krohvitud soojustuse süsteem kehtaks aastaid, peab see olema ka katsetatud külmakindluse suhtes. ETAG-i kohane külmumiskindluse kriteerium näeb ette, et kui krohvil on teatud veeimavusvõime, siis külmakindluse testid ei sobi, kuna vesi võib krohvi taha valguda ka pragude kaudu. Tuleb loota, et koostatava standardi prEN 16383 nõuetega tagatakse paremini krohvitud soojustuse toimimine.





Joonis 2.67 Vee ja selle külmumise koosmõjul on krohv soojustusel hakanud lagunema. Fassaadi katteks tuleb valida selline krohv, mis väldiks vetikate kasvu fassaadil (Joonis 2.68).



Joonis 2.68 Vetikate kasv krohvitud fassaadil.

Ka ehitustööde plaanipärase korraldusega on võimalik ära hoida tarindite niiskuskahjustuste teket. Joonis 2.69 on näha ebakvaliteetse ehitustöö tõttu märgunud sein enne lisasoojustustööde algust. Selliselt märgunud seinast niiskuse väljakuivamine on pikaajaline protsess. Pikaajaliselt märjas seinas on soodsad tingimused

mikroorganismide kasvuks. Tõestamine, et seinas olev materjal (vana soojustus, puitdetailid jne) ei ole kahjustunud, on ehitajale ja omanikujärelevalvele kindlasti kallis ettevõtmine. Ilma selle tõestuseta ei ole aga hoone omanik kindel, et pärast hoone kasutuselevõtmist ei pea hakkama tegelema haige hoone sündroomiga. Seinast väljakuivav niiskus võib kahjustada nii sise- kui ka välisviimistlust. Krohvitud soojustusele on väljakuivav niiskus projekteeritust oluliselt suuremaks koormuseks.

Hoonete renoveerimisel ja ehitamisel on üheks ehitusaegse niiskuskoormuse vähendamise võimaluseks ajutise katuse ja fassaadikatte kasutamine (Joonis 2.70). Ehitusprotsess on väliskliimast vähem mõjutatud ja eeldused kvaliteetse lõpptulemuse saavutamiseks on oluliselt suuremad.



Joonis 2.69 Ebakvaliteetsetest ehitustööde korraldusest märgunud sein enne lisasoojustustööde algust.

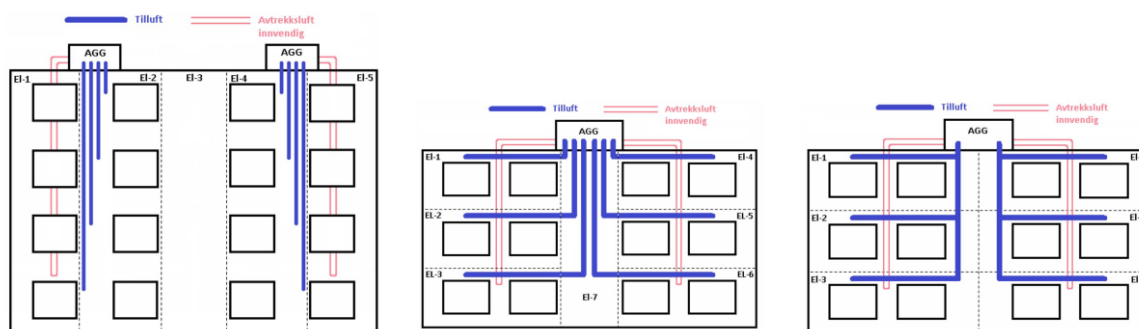


Joonis 2.70 Ehitusaegse märgumise eest on hea kaitsta hoone välisseinad ja katus.

## 2.2.6 Fassaadi paigaldatud ventilatsioonitorude soojuskaod

Võrreldes siseruumide paiknevate ventilatsioonitorudega on välisõhus (näiteks katusel) või fassaadis (Joonis 2.71) paiknevate ventilatsioonitorudega hoonel suurem soojuskadu kuna:

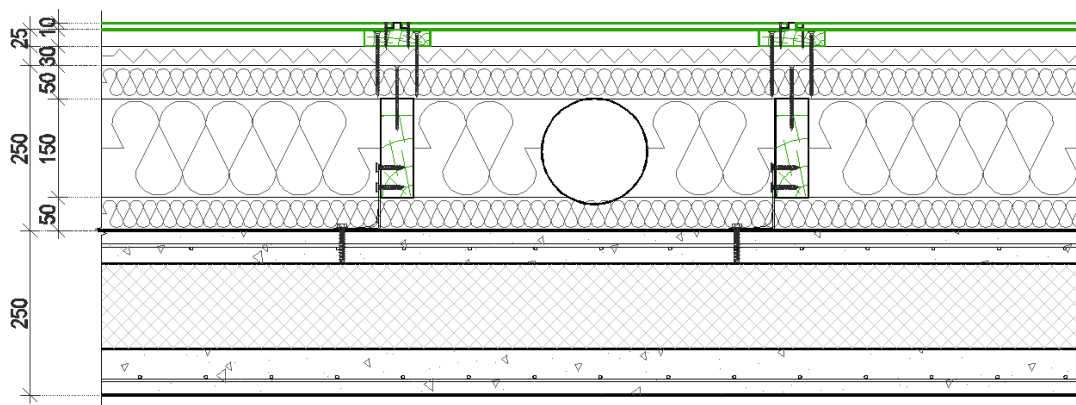
- temperatuuri lang sissepuhkeõhutorus nõueb täiendavat õhu soojendamist;
- temperatuuri lang väljatõmbeõhutorus alandab soojusvahetisse sisenevat temperatuuri ja soojusvahetist väljuva õhu temperatuur on madalam. Vajalik täiendav õhu soojendamine;
- torude kohal on seinas vähem soojustust, mis suurendab soojuskadusid läbi hoonepiirete.



Joonis 2.71 Fassaadis paiknevate ventilatsioonitorude jaotuskeemid, [http://www.tesenergyfacade.com/downloads/smarttes\\_b3\\_Multifunctional](http://www.tesenergyfacade.com/downloads/smarttes_b3_Multifunctional).

Välisõhus või seinas oleva ventilatsioonitorus oleva õhu temperatuurilang sõltub toru läbimõõdust, pikkusest, toru paiknemisest ja soojustatusest varieerudes 0,05...1 K/m piires. Iga konkreetse hoone puhul arvutatakse temperatuurilang välja ning võetakse see sisekliima- ja energiaarvutsutes arvesse.

Välisseina lisasoojustuses oleva ventilatsioonitoru (Joonis 2.72) mõju välisseina soojuslähivusele tuleb arvesse võtta torust põhjustatud joonsoojuslähivusega.

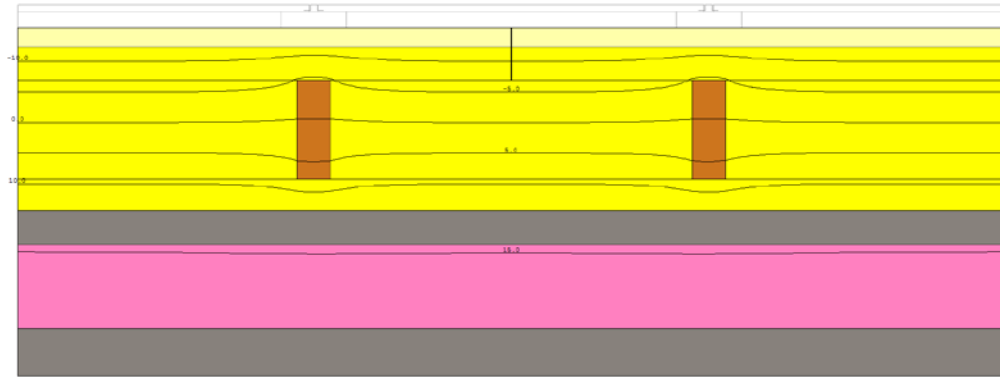


Joonis 2.72 Välissein, kus lisasoojustuses paikneb Ø160mm ventilatsioonitoru.

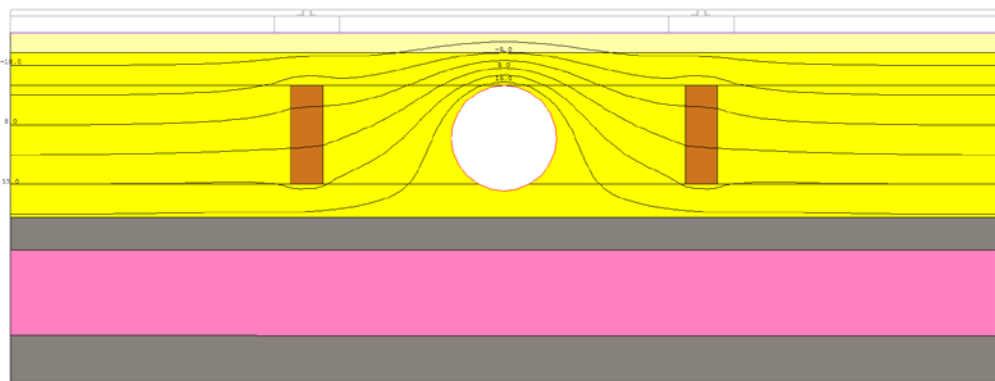
Joonsoojuslähivus arvutatakse temperatuurivälja tarkvaraga ilma toruta (Joonis 2.73) ja ventilatsioonitoruga (Joonis 2.74, Joonis 2.75)

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x = 0,2805 - (0,1256 \cdot 1,5) = 0,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

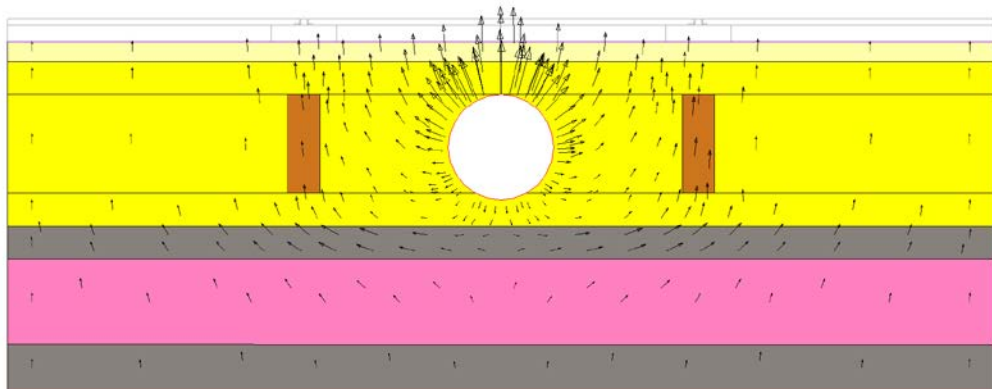
Teades seina sellise läbimõõduga ja selliselt paiknevate ventilatsioonitorude pikkust, saab joonsoojuslähivuse abil arvutada välja torudest tuleneva täiendava soojuskao. Erinevate paiknemisega ja läbimõõdu korral arvutatakse iga juhtumi jaoks välja konkreetne joonsoojuslähivuse suurus.



Joonis 2.73 Ventilatsioonitoruta seina samatemperatuurijooned.



Joonis 2.74 Ventilatsioonitoruga seina samatemperatuurijooned.



Joonis 2.75 Soojusvoovektorid ventilatsioonitoruga seinas.



## 2.2.7 Renoveeritud lahenduste kestvus ja garantii

Ehitatud hoonetesse on investeeritud väga palju ressursi: aega, raha, loodusvarasid jne. Lisaks sellele, et hoone peab vastama ehitisele esitatavatele põhinõuetele, ehitusprojektile, peab hoone ka pikka aega kestma. Ootus, et majanduslikult efektiivsem on jätta garantiiküsimused turu reguleerida, miinimumnõudeid kehtestamata, on pikaajalises perspektiivis lühinägelik. Ettevõtted võivad tekkida ja kaduda, kuid lühikese garantiiajaga ja lagunevad hooned jäävad ühiskonnale koormaks aastakümneteks.

Ajavahemikul 1990...2010 tehtud korterelamute uuring (Kalamees jt 2012) näitas, et praeguste seaduste kohane (kaheaastane) garantiiaeg ei ole hea ehitustava järgi hoone kestvuse (min 50 aastat) tagamiseks piisav. **Projekteerimise ja ehitamise kvaliteet peab oluliselt paranema ning olema selline, et hoonele saaks anda vähemalt kümneaastase garantii.**

Taotluslik ehitustööde garantii tuleb fikseerida ehitustööde teostamise lepingus.

## 3 Ventilatsioon

### 3.1 Korterelamute tüüpilised renoveerimislahendused

Korterelamu renoveerimisel on ventilatsioonisüsteemi peamine ülesanne tagada hea õhu kvaliteet ruumides. Sõltumata ventilatsioonisüsteemi tüübist tuleb korteri kõigis ruumides tagada piisavalt suur ja pidev õhuvahetus. Sealjuures ei tohi värske õhu joad põhjustada inimestele ebamugavust tuuletõmbuse ja ruumi pindade liigse jahutamise näol. Hea lõpptulemuse saavutamiseks on oluline projekteerija ja tellija koostöös välja valida sobiv ventilatsioonisüsteem ning see hästi projekteerida, ehitada ja hooldada. Käesoleva juhendi eesmärk on kirjeldada projekteerijatele, ehitajatele ja järelevalvele rekonstrueeritava korterelamu korrektse projekteerimise protsessi, välja tuua olulised aspektid ning esitada näiteid erinevatest lahendustest.

Juhend koosneb peamiselt kahest osast – ventilatsiooni projekteerimise üldised juhendid ja kuue erineva süsteemi projektide näited. Näidete toomiseks kasutatakse hüpoteetilise viiekorruselise kortermaja trepikoda koos piirnevate korteritega. Korterite ruumide paigutuse ja parameetrite aluseks on võetud 1960...80. aastatel ehitatud levinumate hoonete kahe- ja neljatoalised korterid. Juhendis tuuakse järgnevate ventilatsioonisüsteemide näited:

- sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon korteripõhise soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga:
  - agregaat asub korteris;
  - agregaat asub korterist väljas (koridor, kinniehitatud lodža vms);
- sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga (ventilatsioonitorustik asub vähemalt osaliselt fassaadi lisasoojustuse kihis);
- tsentraalne väljatõmbeventilatsioon soojuspumbaga soojustagastusega (värske õhu juurdevool läbi värske õhu radiaatorite):
  - igal korteril on eraldi ventilatsioonišaht;
  - kasutusel on ühine ventilatsioonišaht (nn emakanal).

Juhend sisaldab ka ventilatsiooni väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoone soojavarustusega ühendamise põhimõtte kirjeldust. Olemasolevate ehituslike šahtide kasutamise puhul on toodud tingimused, millele peavad šahtid vastama, samuti esitatakse projekteerimisele eelneva uuringu kirjeldus.

Juhend ei sisalda loomuliku ventilatsiooni ja ruumipõhiste ventilatsiooniseadmetega süsteemide kirjeldust, sest need ei taga korterites pidevat õhuvahetust ja ei täida energiatõhususnõudeid ning on seega mittesobivad.

Senine kogemus korterelamute ventilatsiooni rekonstrueerimisel on näidanud, et tihti on kasutatud lahendusi, mis ei taga head õhu kvaliteeti, soojuslikku mugavust, madalat mürataset ja/või energiatõhusust. Tuvastatud probleemide põhjal on juhendis keskendutud teadaolevatele kitsaskohtadele ja nende asjatundlikule lahendamisele, mis läbi on tagatud eeldused hea lõpptulemuse saavutamiseks. Ainuüksi juhendis toodud infost aga ei piisa asjatundlikuks projekteerimiseks, projekteerijal on vaja omada erialaseid teadmisi. Juhend sobib hästi tellijatele erinevate põhimõtteliste ventilatsioonilahenduste tutvustamiseks ja on abiks ehitusjärelevalvele olulistele aspektidele tähelepanu pööramiseks.

## 3.2 Ventilatsioonisüsteemi renoveerimise projekteerimine

Korterelamu ventilatsioonisüsteemi projekteerimise alustamiseks on vaja teha järgnevad tegevused:

- selgitatakse välja ventilatsioonisüsteemi tüübid, mis on tehniliselt teostatavad. Selleks on peamiselt vaja uurida hoone arhitektuurset lahendust ja olukorda võimalike ventilatsioonikanalite kulgemisteedel.
- energia- ja majandusarvutuste põhjal valitakse välja ventilatsioonisüsteem, mille abil täidetakse seatud energiatõhususe nõuded ja mille elukaarekulud on väikseimad.
- tuginedes kogutud informatsioonile, valitakse koostöös tellijaga ventilatsioonisüsteem, mida hakatakse projekteerima. Ilmselt tuleb tellijale tutvustada ka võimalikke erinevaid lahendusi, milleks sobib hästi käesolev juhend, või tuleb koostada võimalike variantide eskiisid.

Korterelamu ventilatsiooni projekteerimine toimub üldjuhul järgmiste etappidena:

- õhuvooluhulkade arvutus;
- ventilatsiooniseadmete ja -torustiku lõppelementide valik;
- esialgne ventilatsioonitorustiku ja -seadmete dimensioneerimine ning paiknemine, selle võrdlemine projekti teiste osapooltega ja vajadusel korrigeerimine;
- müraarvutus (sh ka korterite/ruumide vahel) ja vajadusel lahenduse korrigeerimine;
- süsteemi rõhulangu arvutus ja vajadusel lahenduse korrigeerimine;
- torude isolatsioonimaterjalide ja nende paksuse määramine;
- lõplike ventilatsioonijooniste ja seletuskirja tegemine;
- vajadusel energiaarvutuse lähteandmete täpsustamine ning edastamine energiaarvutuse tegijale.

Järgnevalt toome näiteid kahe korteri ventilatsiooni projekteerimise protsessist.

### 3.2.1 Õhuvooluhulkade arvutus

#### Eluruumide ventilatsioon

Eluruumidena käsitletakse käesolevas juhendis alaliseks elamiseks ette nähtud ruume ja nende kogumit ehk korteris ruume (toad, köök, esik, duširuum, vannituba, tualet, korteri sisene panipaik jne.).

Sõltumata ventilatsioonisüsteemi tüübist tuleb projekteerimise alustamisel arvutada ventilatsiooni õhuvooluhulgad. Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardi (EVS-EN 15251) kohaselt liigitatakse sisekliima soojusliku mugavuse taseme järgi klassidesse (vt. Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN 15251)

Sisekliima klass	Selgitus
I	Sisekliima kvaliteedi kõrged nõudmised. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. Parima sisekliima ootus.
II	<b>Sisekliima kvaliteedi tavapärased nõudmised.</b> <b>Rakendatakse uutes ja renoveeritavates hoonetes.</b>
III	Sisekliima kvaliteedi mõõdukad nõudmised. Võib rakendada olemasolevates hoonetes (olemasoleva, renoverimiseelse, olukorra hindamisel).
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.

Taotledes Kredexilt rekonstrueerimistoetust, tuleb tagada ka MTM 27.03.2015 määruises nr 23 „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“ toodud õhuvahetuse nõuete rakendamine. Lisaks on koostamisel määrus „Hoonete sisekliima ja õhustuse nõuded“, mis sätestab sisekliima nõuded uutele ja oluliselt rekonstrueeritavatele hoonetele ning jaotab sisekliima ka erinevatesse klassidesse. Tabel 3.2 on toodud nõuded elamute õhuvahetusele, kui taotletakse toetust korterelamu rekonstrueerimiseks,

ning lisaks I ja II sisekliimaklassi vastavad väärtused. Hoonete sisekliima ja õhustuse nõuete kehtima hakkamisel tuleb olulise rekostrueerimise korral järgida ka II sisekliimaklassi nõudeid, mille järgi sissepuhke õhuvooluhulgad on suuremad (tagamaks paremat sisekliimat), kui rekonstrueerimistoetuse (MTM m. nr. 23) andmise määruuses nõutakse. Seetõttu on käesolevas juhendis kasutatud II sisekliima klassi lähteartve.

Tabel 3.2 I ja II sisekliima klassi ja rekonstrueerimistoetuse taotlemisel kehtivad nõuded elamute õhuvahetusele.

	EVS EN 15251, MTM 201x		MTM m. nr. 23 2015
	I <sup>1</sup>	II <sup>2</sup>	Rek.toetus <sup>3</sup>
Minimaalne eluruumi (kogu korteri või väike-elamu) keskmine välisõhu vooluhulk l/(s m <sup>2</sup> )	0,49	0,42	0,35 <sup>4</sup>
Minimaalne sissepuhke või sissevõetav välisõhu vooluhulk, l/s			
elu- ja magamistubades	18	12	10
alla 11 m <sup>2</sup> magamistubades	12	8	10
Väljatõmbe õhuvooluhulgad niisketest ruumidest, l/s			
WC <sup>5</sup>	14	10	10
pesuruum <sup>5</sup>	20	15	15
ühetoalise korteri pesuruum	14	10	10
köögi üldventilatsioon <sup>5</sup>	12	8	8
ühetoalise korteri köögi üldventilatsioon	8	6	6
ajutine kohtäratõmme pliidikubust	30	25	-

<sup>1</sup> I sisekliimaklass on ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. Parima sisekliima ootus;

<sup>2</sup> II sisekliimaklass on vastavalt määruse „Hoonete sisekliima ja õhustuse miinimumnõuded“ eelnõu tööversioonile kohustuslik uutele ja oluliselt rekonstrueeritavatele hoonetele;

<sup>3</sup> taotledes Kredexilt rekonstrueerimistoetust on antud tulbas toodud väärtused minimaalsed, mis tuleb tagada (paremat sisekliimat võib tagada kasutades II sisekliimaklassi projektväärtusi);

<sup>4</sup> kohustuslik on tagada pidev õhuvahetuse kordsus vähemalt 0,5 h<sup>-1</sup>. Tabelis toodud väärtus vastab korruse kõrgusele 2,5 m;

<sup>5</sup> väljatõmme võib olla väiksem, juhul kui minimaalne välisõhu sissepuhke vooluhulk on tagatud.

Korteri õhuvooluhulkade arvutamiseks tuleb määrata korteri õhuvahetus vastavalt eespool loetletud tingimustele ja valida saadud tulemustest suurim. Pesuruumi, WC ja köögi üldvahetuslikud väljatõmbe õhuvooluhulgad määravad kogu korteri õhuvahetuse väiksemate korterite puhul. Elu- ja magamistubade sissepuhke õhuvooluhulk saab määravaks suurema tubade arvuga korterite puhul. Harvemini saab määravaks üldine õhuvahetus ja sellega saab arvestada siis, kui korteris on suure pindalaga kõrged ruumid.

Järgnevatel näidetes on toodud neljatoalise (Tabel 3.3) ja kahetoalise (Tabel 3.4) korteri õhuvooluhulkade arvutamised II sisekliimaklassi kohta ning on kirjeldatud korterite summaarse õhuvooluhulga määramist. Joonis 3.1 on toodud korterite plaanid ja projekteeritud õhuvooluhulgad.

Tabel 3.3 Neljatoalise korteri õhuvahetuse arvutus.

4-toaline korter 1	
Pindala 79,3 m <sup>2</sup> ; ruumide kõrgus 2,5 m,	
Magamis- ja elutubade arv 4	
Üldine ventilatsiooni õhuvahetuskordsus 0,42 l/(s m <sup>2</sup> )	79,3·0,42=33 l/s
Sissepuhke magamis- ja elutubades vähemalt:	8+3·12=44 l/s
alla 11m <sup>2</sup> magamistoad 8 l/s, ülejäänud elu- ja magamistubades 12 l/s	
Üldväljatõmme: WC – 10 l/s, vannituba – 15 l/s, köök – 8 l/s	10+15+8=33 l/s
Korteri üldventilatsiooni õhuvooluhulk	44 l/s

Neljatoalises korteris on magamis- ja elutubade sissepuhkeõhu vooluhulk 44 l/s suurem sanitaarruumide üldväljatõmbe õhuvooluhulgast (33 l/s) ning seetõttu tuleb väljatõmbe



õhuvooluhulkasid suurendada  $44/33 = 1,33$  korda. Ruumide kaupa on väljatõmbe õhuvooluhulgad järgmised:

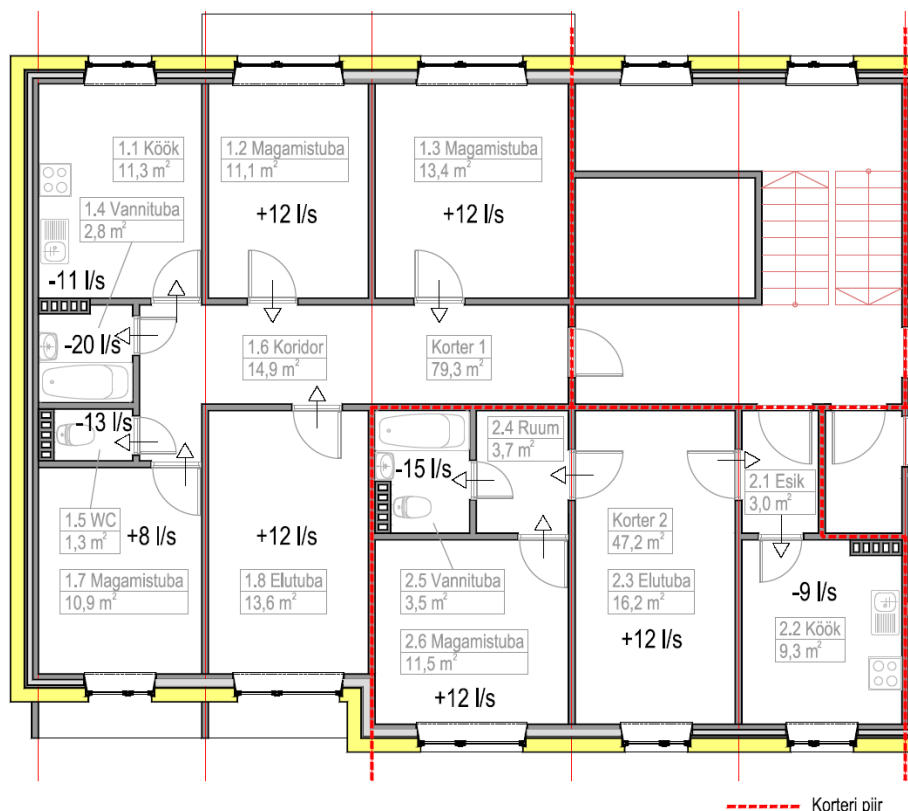
- WC  $1,33 \cdot 10 = 13$  l/s
- Vannituba  $1,33 \cdot 15 = 20$  l/s
- Köök  $1,33 \cdot 8 = 11$  l/s

Neljatoalises korteris on summaarne väljatõmbe õhuvooluhulk  $13 + 20 + 11 = 44$  l/s, mis on võrdne sissepuhke õhuvooluhulgaga, kui korteri õhuvooluhulkade arvutused on tehtud korrektset.

Tabel 3.4. Kahetoalise korteri õhuvahetuse arvutus

Kahetoaline korter 2	
Pindala $47,2 \text{ m}^2$ ; ruumide kõrgus $2,5 \text{ m}$ , Magamis- ja elutubade arv 2	
Üldine ventilatsiooni õhuvahetuskordus $0,42 \text{ l/(s m}^2)$	$47,2 \cdot 0,42 = 20 \text{ l/s}$
Sissepuhke magamis- ja elutubades vähemalt: alla $11 \text{ m}^2$ magamistoad $8 \text{ l/s}$ , suuremates elu- ja magamistubades $12 \text{ l/s}$	$2 \cdot 12 = 24 \text{ l/s}$
Üldväljatõmme: WC – $10 \text{ l/s}$ , vannituba – $15 \text{ l/s}$ , köök – $8 \text{ l/s}$	$15 + 8 = 23 \text{ l/s}$
Korteri üldventilatsiooni õhuvooluhulk	$24 \text{ l/s}$

Kahetoalises korteris on vajaliku sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade erinevus väiksem ning väljatõmbe õhuvooluhulkasid tuleb korrigeerida vaid  $\sim 4\%$ .



Joonis 3.1 Kahe- ja neljatoalise korteri õhuvooluhulgad ja siirdõhu liikumise teed.

### Muude ruumide ventilatsioon

Muude ruumidena käsitletakse käesolevas juhendis ruume või kogumit, mis oma kasutamise otstarbe poolest pole ette nähtud elamiseks. Nendele lisanduvad veel tehnoruumid (ventilatsiooniruum, katlaruum, soojussõlme ruum, kilbiruum, veemöödusõlme ruum, lifti ajam ja seadmete ruum ja muud hoonet teenindavad tehnilised ruumid), üldkasutatavad ruumid (kasutajate ühises kasutuses olev pinnad, sealhulgas ühenduste, näiteks trepikoda, koridor, liftišaht, olmeruumid, näiteks puhkeruum,

koristustarvete ruum, ühiskasutuses olev saun, duširuum, riietusruum, tualett, kelder või keldriboks, hoones asuvad parkimiskohad ja muu taolised ruumid).

Korterelamu rekonstrueerimisel tuleb lahendada lisaks eluruumide ventilatsioonile ka muude ruumide ventilatsioon. Õhuvooluhulkadena kasutatakse määrustes, standardites, ja normides esitatud õhuvooluhulkade suurus.

Täpsemate andmete puudumisel võib ventilatsiooni projekteerimisel õhuvooluhulkade arvutamisel aluseks võtta:

- Trepikoda, üldkoridor:  $0,2 \text{ h}^{-1} \dots 0,5 \text{ h}^{-1}$  (D2 2012);
- Ladu keldris:  $0,14 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2) \dots 0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  (D2 2012).

Kuna hoone energiaarvutust ei tehta ei tehta ruumipõhiste õhuvooluhulkadega, peab energiaarvutuses kasutama trepikodades  $0,42 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2) \dots 0,5 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  (VV 2012, MKM 2012).

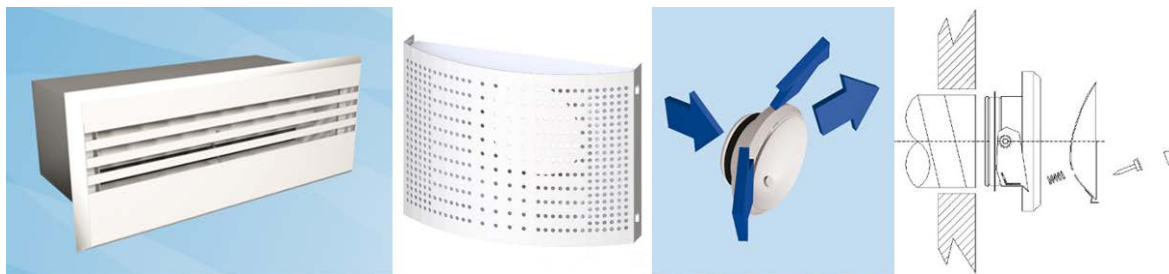
Kuna trepikodade, keldrite ja muude mitte eluruumide pindala ja kubatuur on suur, tuleks ka nende ruumide ventileerimisel kasutada kindlasti soojuse tagastust.

### 3.2.2 Ventilatsioonitorustiku lõppelementide valik

Pärast ruumide kaupa õhuvooluhulkade arvutamist tuleks välja valida õhujagajad ja plafoonid, mille puhul tuleb jälgida, et

- sissepuhkeõhk jõuaks inimeste viibimise tsooni, põhjustamata tõmbust;
- torustiku lõppelemendi takistus ei oleks liiga suur;
- torustiku lõppelement ei tekitaks arvutuslikul õhuvooluhulgal liiga suurt müra;
- reguleerimisvahemik oleks piisavalt suur, kui see võimalus on olemas;
- nähtavad torustiku lõppelemendid oleksid korrektse väljanägemisega.

Õhujagaja valimisel tuleks alustada sellest, kuhu soovitakse õhujagajad paigutada, kas lakke, seinale või kaalutakse mingit muud võimalust. Lisaks on oluline ka õhujoa suund. Joonis 3.2 on toodud seinale paigaldatavad õhujagajad. Osa õhujagajaid suunavad joo otse seinast eemale, osad aga vabalt valitud suunas piki seina õhku. Joonis 3.3 on esitatud lakke paigaldatavad sissepuhke õhujagajad.



Joonis 3.2 Seinale paigaldatavad õhujagajad. Kaks vasakpoolset puhuvad õhujoa seinast eemale, parempoolne suunab õhujoa piki seina ja joo suunda saab paigaldades ise valida (Halton, ETS NORD).

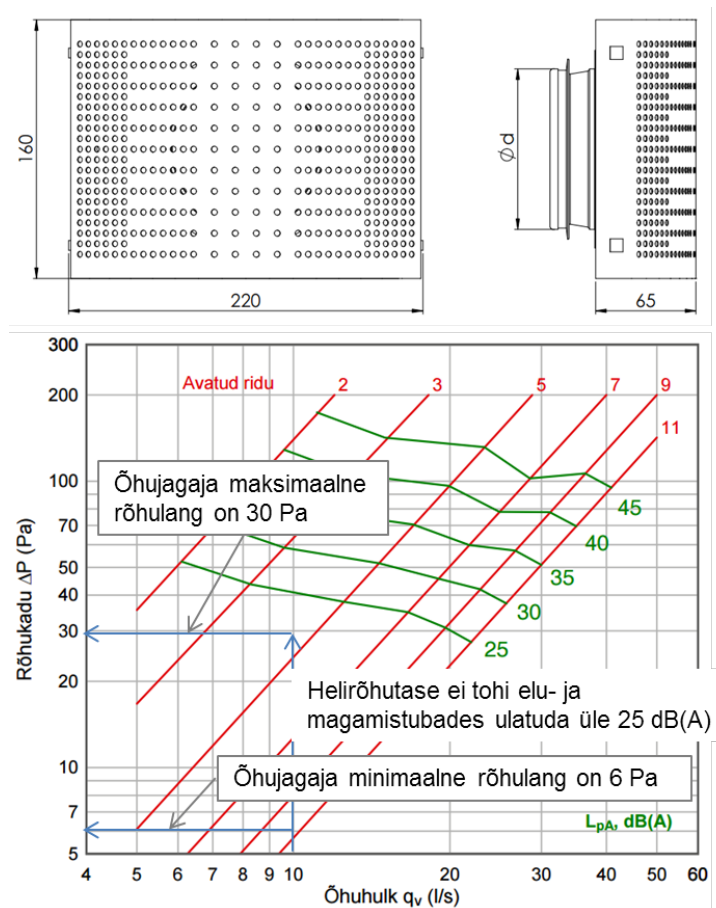


Joonis 3.3 Lakke paigaldatavad õhujagajad (Fläktwoods).

Pärast õhujagaja valimist tuleb kontrollida, milline on selle minimaalne ja maksimaalne takistus ehk reguleerimisvahemik. Minimaalne takistus on näiteks plafooni rõhukadu

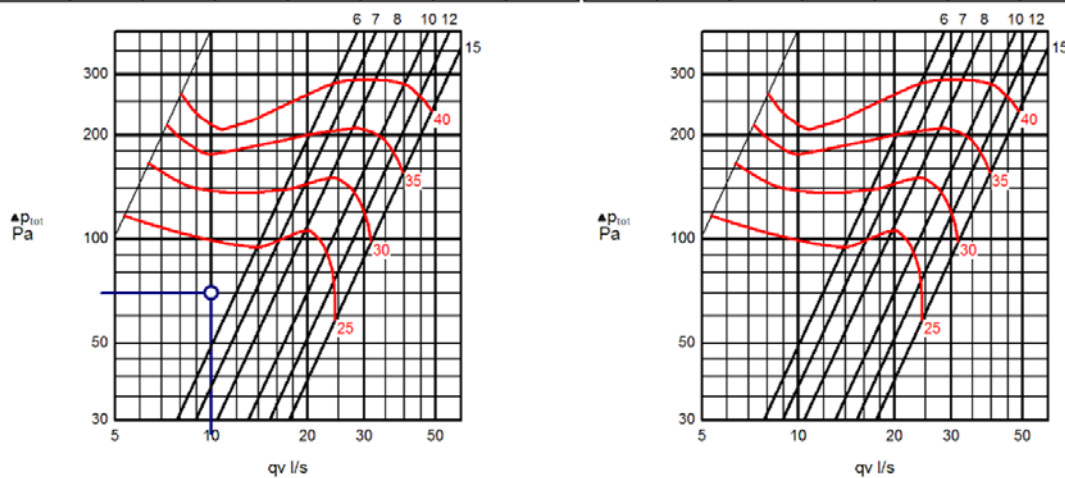
arvutuslikul vooluhulgal, kui see on reguleeritud võimalikult palju õhku läbi laskma. Maksimalne takistus on selline, mille puhul ei tekita plafoon ruumis normist kõrgemat mürataset. Joonis 3.4 on näiteks toodud seinapealse sissepuhke õhujagaja kataloogi valikunomogramm, mille reguleerimisvahemik õhuvooluhulgal 10 l/s ja lubatud ruumi helirõhutaseme 25 dB(A) korral on 6 kuni 30 Pa. Selle õhujagaja reguleerimisvahemik pole väga suur ja see on sobilik kasutamiseks torustikus, kus teised lõppelemendid on samasuguse takistusega, ja torustik pole liiga pikk ning suure takistusega. Joonis 3.5 on toodud väljavõtte õhujagaja valikuprogrammist, millest selgub, et maksimaalselt avatud õhujagaja rõhulang õhuvooluhulgal 10 l/s on 10 Pa ning liigset müra tekitamata on võimalik saavutada takistus 70 Pa. Selle õhujagaja reguleerimisvahemik on eelmisest suurem ja seega saab seda kasutada ka pikema ja suurema rõhulanguga torustiku korral. Kui õhuvooluhulgad on suuremad või väiksemad kui näites toodud 10 l/s, tuleb lähtuda nendest väärtustest.

Lisaks ruumide õhujagajatele tuleb valida torustiku osad heitõhu väljaviskeks ja õhuvõtuks. Selleks on otstarbekas kasutada kompaktselt kombineeritud õhuvõtu- ja heitõhuresti (Joonis 3.6). Neljatoalise korteri puhul õhuvooluhulgal 44 l/s on väikseima 125 mm nimiläbimõõduga resti õhuvõtu takistus 12 Pa ja heitõhu takistus 4 Pa. Üldiselt ei tohiks nimetatud takistused ületada 20–30 Pa. Seega sobib see rest hästi nii kahe- kui ka neljatoalise korteri puhul.

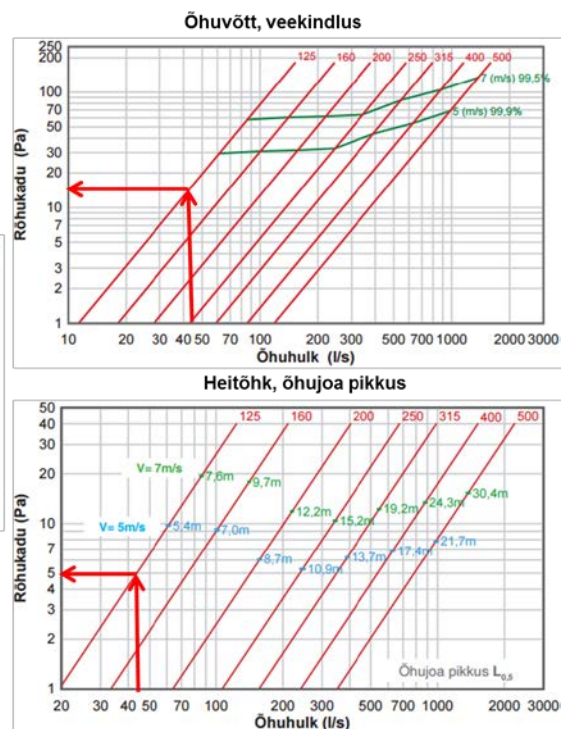
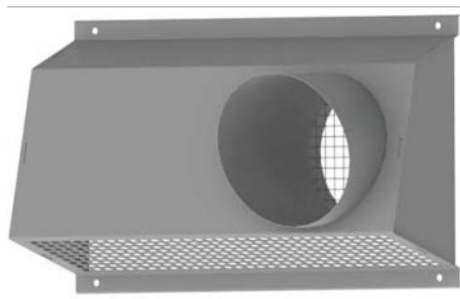


Joonis 3.4 Seinapealse õhujagaja valikunomogramm. Kui õhujagaja kõik read on avatud, siis on arvutuslikul õhuvooluhulgal 10 l/s selle minimaalne takistus 6 Pa. Teenindava ruumi suurim lubatud helirõhutaseme on 25 dB(A) ja arvestades väikse varuga, on selle õhujagaja suurim lubatud takistus 30 Pa (ETS NORD).

qv=10 l/s $\Delta p_{tot}=70$ Pa      a=5.2								qv=10 l/s $\Delta p_{tot}=10$ Pa      a=15.0							
L <sub>w</sub> Are 10m <sup>2</sup> sab=21 dB(A)      NR/NC=21/18								L <sub>w</sub> Are 10m <sup>2</sup> sab<20 dB(A)      NR/NC=							
L <sub>w</sub> dB															
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz								
31	19	19	23	21	11	11	18								



Joonis 3.5 Sissepuhke õhujagaja valikunomogramm. Kui õhujagaja on reguleeritud asendisse 5.2, on õhuvooluhulgal 10 l/s takistus 70 Pa ja tekitatav helirõhutase 21 dB(A). Kui asend on 15.0, siis on rõhulang 13 Pa ja helirõhutase alla 20 dB(A) (Halton).



Joonis 3.6 Kombineeritud heitõhu väljaviske ja õhuvõtu element. Neljatoalise korteri puhul õhuvooluhulgal 44 l/s on 125 mm nimiläbimõõduga resti heitõhu takistus 5 Pa ja õhuvõtu takistus 15 Pa (ETS NORD).

### 3.2.3 Ventilatsiooniseadme valik

Ventilatsiooniseadme valikul on vaja teada ventilatsioonisüsteemi tüüpi ja ala, mida ventilatsiooniseade teenindama hakkab. Olles eelnevalt ruumide kaupa välja arvanud õhuvooluhulgad, tuleb need ventilatsiooniseadme tootlikkuse saamiseks kokku liita. Teine oluline parameeter ventilatsiooniseadme valikul on eeldatav vajalik rõhutõus ventilatsiooniorustikus, mis koosneb kanalitest, lõppelementidest, mürasummutitest, reguleer- ja tuleohutusarmatuurist ning õhuvõtu ja heitõhu elementidest. Väiksema



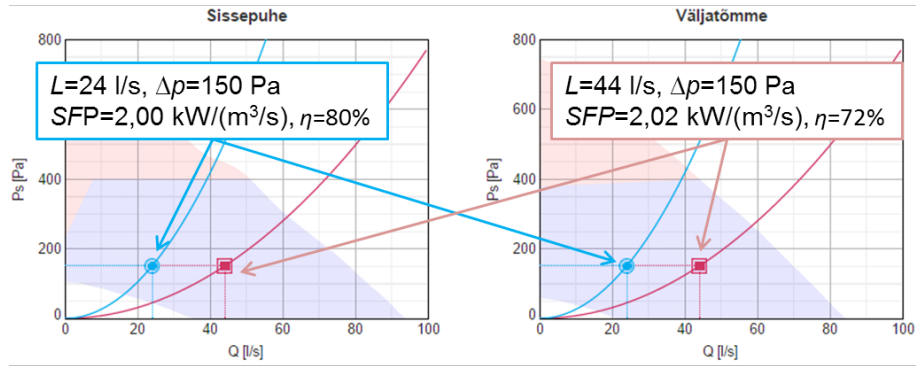
pinnaga ala, näiteks korterit teenindava ventilatsiooniseadme vajalik rõhutõus on väiksem ja esialgu võib väärtuseks võtta 100 Pa. Kui teenindatav ala on suurem, nagu näiteks kortermaja tsentraalse ventilatsiooni puhul, siis võiks esialgseks torustiku rõhulanguks võtta 200 Pa. Projekteerimise hilisemas faasis tuleb torustiku kohta teha aerodünaamiline arvutus, et välja selgitada tegelikult vajalik rõhutõus ja kontrollida süsteemi tasakaalustamise võimalikkust.

Siinkohal toome näite, kuidas valida ventilatsiooniseadmed eespool kirjeldatud kahe- ja neljatoalisele korterile, mille arvutuslikud õhuvooluhulgad on vastavalt 24 ja 44 l/s. Eeldame, et kumbagi korterit teenindab kinniehitatud lodžale paigaldatav korteripõhine ventilatsiooniseade, mille torustiku pikkus on suhteliselt lühike. Seega võib torustiku rõhulanguks nii sissepuhkel kui ka väljatõmbel võtta näiteks 100 Pa. Lodža seinale sobib hästi paigaldamiseks vertikaalne ventilatsiooniseade, mille torustiku kõik ühendused asuvad seadme kohal. Valime rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadme ja vastavalt energiaarvutusele ei tohiks soojustagasti temperatuuri suhtarv olla oluliselt alla 80%. Lisaks on eesmärgiks saavutada ventilaatorite elektrienergia eritarbimine alla 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

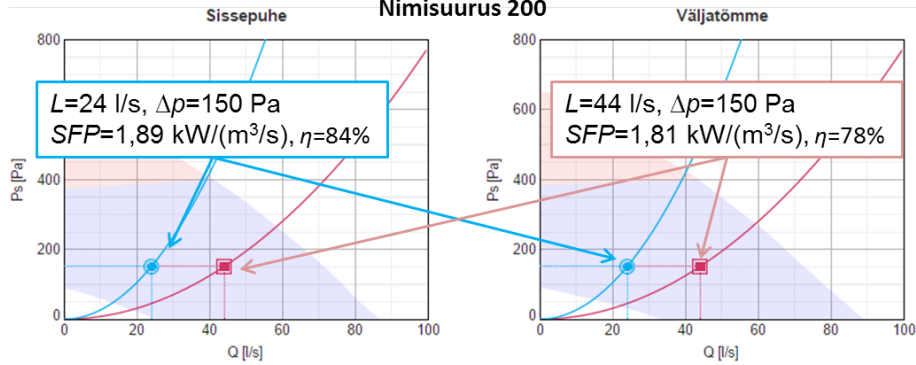
Ventilatsiooniseadme valikul võrdlesime ventilatsiooniseadmete tootja kodulehel asuva valikuprogrammi abil seadmeid nimisuurustega „150“ ja „200“. Valikuprogramm annab ventilaatorite elektri eritarbimise (SFP: *specific fan power*) ainult puhaste filtrite puhul, aga energiaarvutuses tuleks arvestada keskmiselt mustunud filtritega. Seega lisasime nii sissepuhke- kui ka väljatõmbetorustiku rõhulangu 50 Pa, mis on hinnanguliselt filtrite rõhulangu suurenemine keskmisel mustumisel. Joonis 3.7 on toodud kahe erineva suurusega ventilatsiooniseadme ventilaatorite ja soojustagastite efektiivsused arvutuslikel tingimustel. Ventilatsiooniseade nimisuurusega 200 on efektiivsem nii ventilaatorite elektritarbimise kui soojustagasti temperatuuri suhtarvu seisukohast. Lisaks võtab see umbes sama palju ruumi kui seade nimisuurusega 150. Samas on suurem seade eeldatavasti kallim ja lõpliku valiku tegemiseks tuleks hankida seadmete hinnad ja teha majandusarvutus. Erinevate korterite puhul võivad majanduslikult põhjendatuks osutada erinevad seadmed.

Joonis 3.8 on näidatud, kuidas määrata ventilatsiooniseadme SFP-d ja soojustagasti temperatuuri suhtarvu kataloogis toodud nomogrammide põhjal. Joonisel on näha, et kahe- ja neljatoalise korteri ühe ventilaatori SFP on vastavalt 0,75 ja 0,6 kW/(m<sup>3</sup>/s), mis tuleb kogu seadme SFP leidmiseks kahega läbi korrutada. Seega on antud seadme SFP-d kahe- ja neljatoalise korteri puhul vastavalt 1,5 ja 1,2 kW/(m<sup>3</sup>/s). Samal joonisel leiab ka soojustagasti temperatuuri suhtarvud, mis on tegelikul õhuvooluhulgal vastavalt 88% ja 84%.

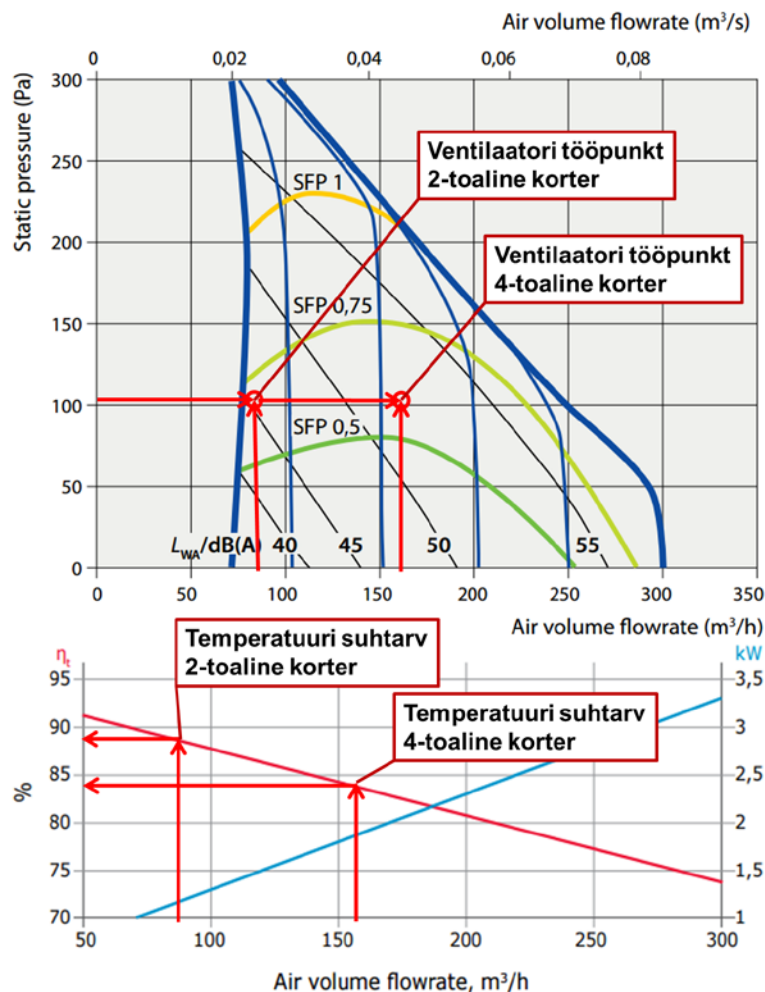
### Nimisuurus 150



### Nimisuurus 200



Joonis 3.7 Rootorsoojustagastiga vertikaalsete ventilatsiooniseadmete võrdlus õhuvooluhulkadel 24 l/s ja 44 l/s ( $L$ ). Torustiku rõhulanguks on arvestatud 100 Pa, millele lisandub filtrite keskmine mustumine 50 Pa ( $\Delta p$ ). Seadme nimisuurusega 200 ventilaatorite elektri eritarbimine ( $SFP$ ) on väiksem ja soojustagasti pind on suurem ning seetõttu saavutatakse ka parem soojustagasti temperatuuri suhtarv ( $\eta$ ) (Systemair).



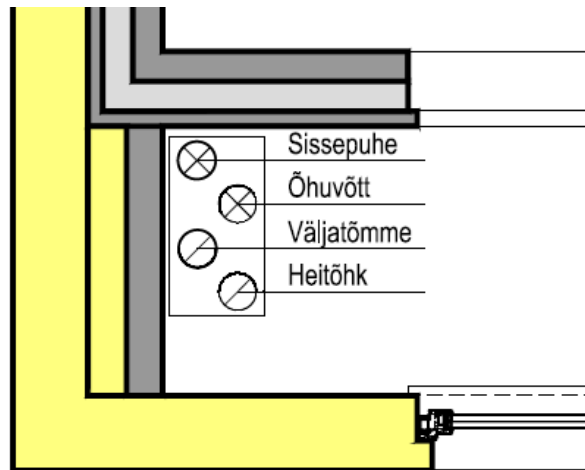
Joonis 3.8 Roorsoojustagastiga vertikaalsete ventilatsiooniseadmete valik kataloogis toodud nomogrammide põhjal. Kahe- ja neljatoalise korteri õhuvooluhulgad ning ventilaatori rõhutõusud on tähistatud üllemisel ning soojustagasti temperatuuri suhtarv alumisel joonisel (Komfovent).

### 3.3 Ventilatsiooniseadmete- ja torude paiknemine

Pärast õhujagajate ja ventilatsiooniseadmete valimist tuleks need paigutada korteri plaanidele ja joonestada ka torustik. Esialgse torustikulahenduse joonestamisel tuleks järgida järgmist tegevuste järjekorda:

- paigutada ventilatsiooniseade ette nähtud kohta ja valida selle käeliskus nii, et torustikku oleks mugav paigaldada;
- paigutada plafoonid ja õhujagajad ruumidesse nii, et need tagaksid efektiivse õhuvahetuse; asukohta võib hiljem korrigeerida, kui see on vajalik näiteks torude ristumise vältimiseks;
- ühendada ventilatsiooniseade ja torustiku lõppelemendid omavahel ventilatsioonikanalitega, mille ristlõike pindala tagab õhuvoolu liikumise kiiruse ette nähtud piirides.

Joonis 3.9 on näidatud, kuidas ventilatsiooniseade on paigutatud lodžale ja käeliskus valitud nii, et sissepuhe ja väljatõmme jääksid ruumi poole ning õhuvõtt ja heitõhk välisõhu poole.



Joonis 3.9 Lodžal paikneva ventilatsiooniseadme käelisus on valitud nii, et sissepuhe ja väljatõmme jääksid ruumi poole ning õhuvõtt ja heitõhk välisõhu poole.

Ventilatsioonitorustik tuleb dimensioneerida piisavalt suur, et õhuvoolu liikumise kiirus ei tekitaks torustikus liigset müra ja rõhulangu. Tabel 3.5 on toodud maksimaalsed õhuvoolu liikumise kiirused erinevates torustiku osades. Üldiselt võib ümarates ventilatsioonikanalites lubada suuremat kiirust kui kandilistes kanalites. Kohtades, kus õhujoad põrkuvad vastu ventilatsioonikanali seina või omavahel, tuleks valida pigem suuremate läbimõõtudega torud. Väljatõmbeplafoonid asuvad tavaliselt ruumides, kus on lubatud kõrgem müratase kui elu- ja magamistubades, ning sel juhul võib väljatõmbekanalites ette näha pisut suuremat õhu liikumise kiirust. Lisaks võib suuremat kiirust lubada mürasummutitest ventilatsiooniseadme poole jäävates kanalites ning heitõhu- ja õhuvõtutorustikus.

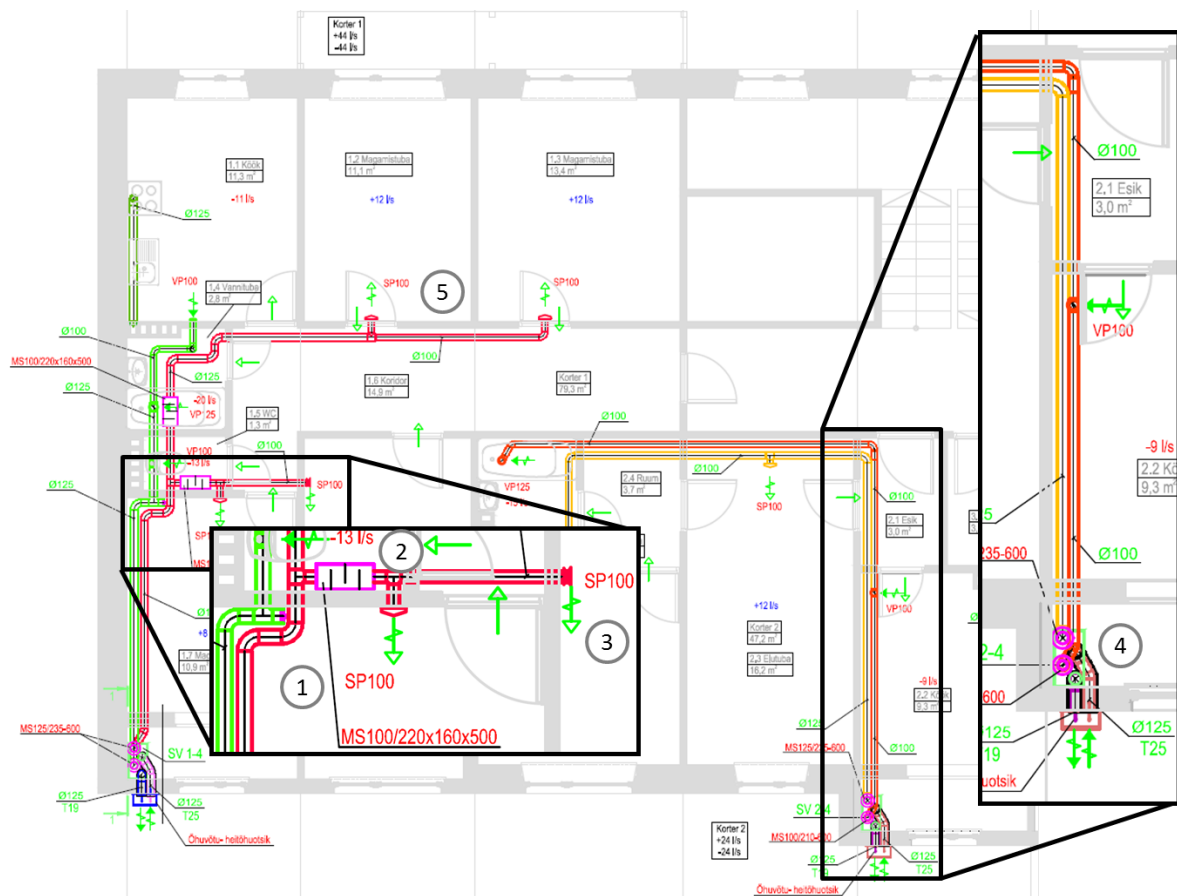
Tabel 3.5. Maksimaalsed õhuvoolu liikumise kiirused elamu sissepuhketorustikus (Seppänen 2004).

	Maksimaalne kiirus, m/s	Õhuvooluhulk maksimaalsel kiirusel, l/s					
		Ø100	Ø125	Ø160	Ø200	Ø250	Ø315
Torustik korteris pärast mürasummutit	2,5	20	31	50	79	123	195
Kandiline torustik	3	24	37	60	94	147	234
Ümmargune torustik	4	31	49	80	126	196	312
Ümmargune magistraaltorustik <sup>1</sup>	5	39	61	101	157	245	390

<sup>1</sup> Tsentraalse ventilatsioonisüsteemi püstikutes

Eelpool kirjeldatud põhimõtteid järgides tuleb joonestada esialgne ventilatsioonitorustiku lahendus. Lisaks ventilatsiooniseadmele, -kanalitele ja torustiku lõppelementidele tuleks selles faasis arvestada ka mürasummutite ja isolatsioonikihi ruumivajadusega, võimaliku reguleer- ja tuleohutusarmatuuri paiknemisega ning võimalike ripplagedega. Joonis 3.10 on toodud kahe korteri puhul näiteks, kuidas esialgne ventilatsioonitorustiku lahendus välja näeb. Lisaks ventilatsiooniseadmetele, -kanalitele ja lõppelementidele on ära märgitud ka mürasummutite eeldatav asukoht, mille täpsem dimensioneerimine toimub müraravutuse abil. Neljatoalise korteri puhul on kanalites kasutatud õhu liikumise kiirust 3,6 m/s, mis on suurem kui Tabel 3.5 soovitatud 2,5 m/s. Torude läbimõõdu valik on põhjendatud, sest sissepuhketorustikus on pärast suhteliselt suure õhu liikumise kiirusega lõiku mürasummutid.





Joonis 3.10 Korteris esialgne ventilatsioonitorustiku lahendus:

- 1 – õhuvoolu liikumise kiirus neljatoalise korteri Ø125 mm magistraalkanalites on 3,6 m/s, mis sobib, sest sissepuhkkel on pärast seda löiku mürasummutid ning niisketes ruumides on lubatud elu- ja magamistubadest kõrgem müratase;
- 2 – mürasummuti pärast magistraalkanal hargnemist;
- 3 – õhujagaja, mis suunab õhujoa piki seina küljele, et sissepuhkeõhk jõuaks ühtlaselt kogu ruumi;
- 4 – ventilatsiooniseadme käelisus on valitud nii, et oleks mugav torustikuga korterisse liikuda ja enne korterisse sisenemist on sissepuhe ning väljatõmme asetatud nii, et korteri sees ei oleks omavahelisi ristumisi; kiirus Ø100 mm magistraalkanalites on 2,5 m/s;
- 5 – sissepuhe tubadesse läbi koridori seina on lahendatud nii, et õhk jõuaks ühtlaselt kogu ruumi.

Kui esialgne ventilatsioonitorustiku lahendus on tehtud, siis tuleks seda esitleda eelkõige tellijale märkuste tegemiseks, aga ka teistele projekteerimismeeskonna osapooltele kooskõlastamiseks. Lõplik torustiku, seadmete ja lõppelementide lahendus selgub kogu projektmeeskonna koostöös.

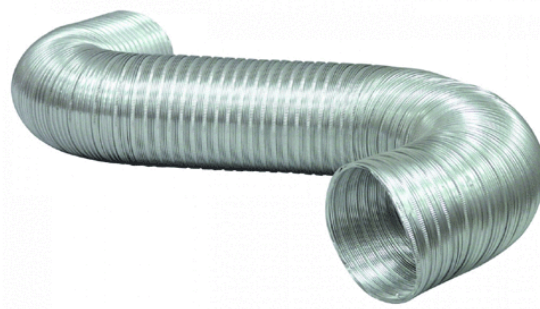
Ventilatsioonitorustik koostatakse torudest ja tihenditega varustatud üksikutest elementidest, nagu kolmikud, põlved, vaheliitmikud jne (Joonis 3.11). Ventilatsioonitorustik koostatakse tsingitud plekist torudest või plasttorudest (Joonis 3.12, ülal). Müügil on ka fooliumist painduvaid torusid (Joonis 3.12 all), mida ei ole soovitatav kasutada, kuna need võivad puruneda ventilatsioonitorustiku mehaanilise puhastamise ajal. Ventilatsioonitorustiku koostamisel tuleks eelkõige kasutada tehases valmistatud elemente (Joonis 3.13, vasakul), kuna need tagavad puhtama, kvaliteetsema lõpptulemuse ja kiirema töö. Torude liitumisel sadulat kasutades (Joonis 3.13, paremal) on suurem oht torustiku õhulekkeks ja suuremaks rõhukaoks.

Ventilatsioonitorustiku hermeetilisuse tagamiseks on tähtis, et kõik torustiku elemendid on varustatud tihendiga (Joonis 3.14, vasakul). Ilma tihenditeta torustikul (Joonis 3.14, paremal) on lekkeoht suurem. Ventilatsiooni mürasummutid võivad olla kas jäigad (Joonis

3.15, vasakul) või painduvad (Joonis 3.15, paremal). Mõlemal puhul on oluline, et teada oleks nende heliisolatsiooni karakteristikud.



Joonis 3.11 Ventilatsioonitorustik koostatakse torudest ja tihenditega varustatud üksikutest elementidest nagu kolmikud, põlved, vaheliitmikud jne. (foto: Lindab).



Joonis 3.12 Ventilatsioonitorustik koostatakse tsingitud plekist torudest või plasttorudest (ülal). Müügil on ka fooliumist painduvaid torusid, mida ei ole soovitatav kasutada, kuna need võivad puruneda ventilatsioonitorustiku mehaanilise puhastamise ajal.



Joonis 3.13 Ventilatsioonitorustiku koostamisel tuleks kasutada eelkõige tehases valmistatud sujuvat õhuliikumist tagavaid liitumistega elemente (vasakul), kuna need tagavad puhtama, kvaliteetsema lõpptulemuse ja kiirema töö. Torude liitumisel sadulat kasutades (keskel ja paremal) on suurem oht torustiku õhulekkeks ja suuremaks rõhukaoks.



Joonis 3.14 Ventilatsioonitorustiku hermeetilisuse tagamiseks on tähtis, et kõik torustiku elemendid on varustatud tihendiga (vasakul). Ilma tihenditeta torustikul (paremal) on lekkekoht suurem.

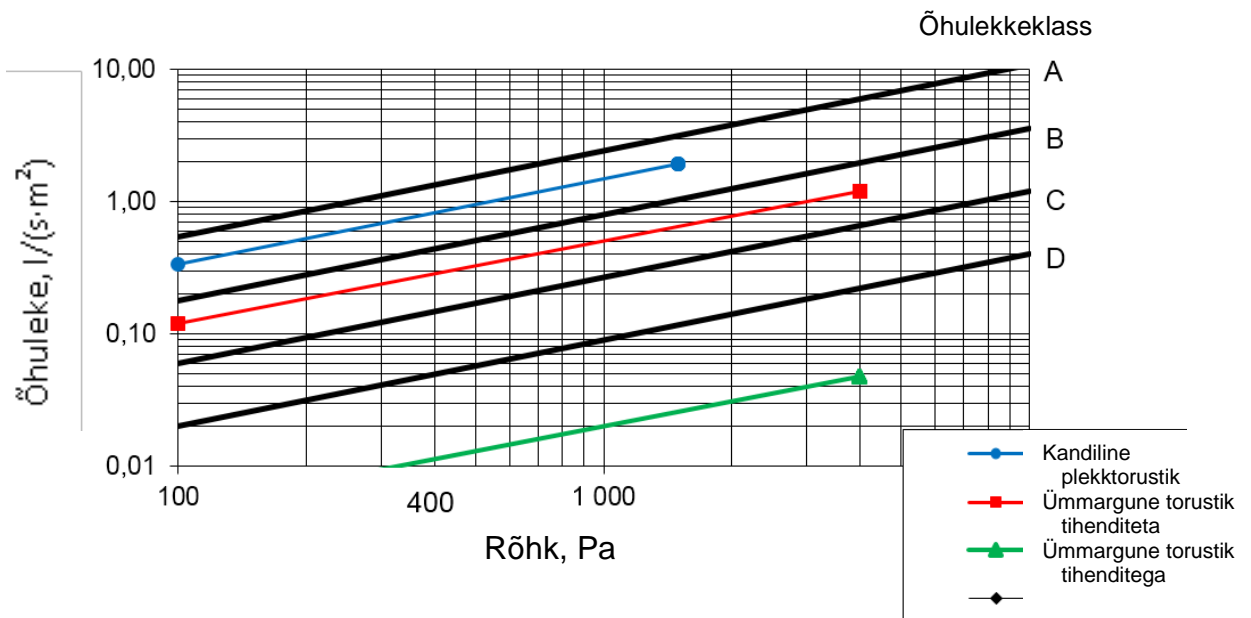


Joonis 3.15 Ventilatsiooni mürasummutid võivad olla kas jäigad (vasakul) või painduvad (paremal). Mõlema lahenduse puhul on oluline, et teada oleks nende heliisolatsiooni karakteristikud.

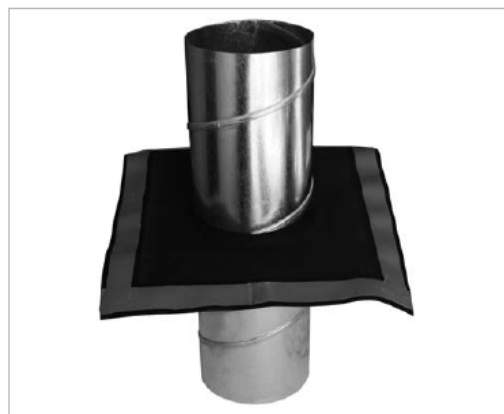
Ventilatsioonitorustiku hermeetilisus mõõdetakse kaetud tööde akteerimise ja kvaliteedikontrolli käigus (Joonis 3.16). Ventilatsioonitorustiku hermeetilisust mõjutavad nii tehtud tööde kvaliteet kui ka valitud ventilatsioonitorustiku lahendus (Joonis 3.17).



Joonis 3.16 Ventilatsioonitorustiku õhuleke mõõdetakse enne töö tellijale üleandmist kaetud tööde akteerimise ja kvaliteedokontrolli käigus (Mattson 2014, Retrotec).



Joonis 3.17 Erineval torustiku lahendusel on üldjuhul erinev hermeetilisuse tase (Mattson 2014).



Joonis 3.18 Ventilatsioonitoru õhu- ja aurutõkkest läbiviigul tuleb tagada õhu- ja aurutõkke hermeetilisus kasades selleks sepetsiaalselid läbiviigutooteid (Mattson 2014).



Ventilatsioonijaotustorustik korteris paikneb peamiselt lae all seina ääres. Tehniliselt võib toru paikneda ka ilma viimistlemata või peidetuna karbikusse. Ruumi visuaalset väljanägemist arvestades soovitakse sageli peita torud ära. Kõige otstarbekam on selleks kasutada spetsiaalseid tooteid, näiteks tehases valmistatud karbikuid, kuhu toru paigaldatakse.



Joonis 3.19 Ventilatsioonitoru korteris paigaldatakse spetsiaalkarbikusse  
 (Lindab InCapsa: [www.lindab.com](http://www.lindab.com),  
 \\liab.lindab.com\LinFiles\Company\79AII\Incapsa\Lindab\_Master\_110714\_2\_h264  
 Montering.mov, <https://www.youtube.com/watch?v=C2AREepzlrk>;  
<https://www.youtube.com/watch?v=gVI0Rc15QU4>, Hallstroms INTERIOR:  
<http://www.hallstroms.com/wp/produkter/hitac-interior/?lang=en>).

Eelvalmistatud karbikutel on mitmeid eeliseid tavaliste kipsplaatidest torukatete ees:

- paigaldustöö korteris on olulisemalt kiirem ja on väiksem olemasoleva viimistluse kahjustamise oht;
- oluliselt vähem on tolmu tekitavaid töid (kipsplaadi pahtelduse lihvimine jne);
- standardiseeritud tooted tagavad ühtlase kvaliteedi;
- karbikusüsteemi on niimoodi võimalik integreerida ventilatsiooniplafoone.

## Olemasolevad ehituslikud ventilatsioonishahtid

Kui ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimiseks kasutatakse olemasolevaid ehituslikke šahte, tuleb enne projekteerimise alustamist veenduda, et need on piisavalt tihedad. Suurte ebatiheduste korral võib väljatõmmatava õhu kogus jaotuda korterite vahel ebaproportsionaalselt. Lisaks sellele lisandub väljatõmbeplafoonide õhuvooluhulgale ka ebatiheduste kaudu välja tõmmatav õhk, mis põhjustab ebamõistlikult suure kontrollimatu õhuvahetuse. Seetõttu peab enne ehituslike kanalite kasutamist ventilatsiooniks veenduma, et šahtide leke ei ole 50 Pa alarõhu juures suurem kui  $0,7 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  kanali küljepindala suhtes. Ventilatsioonishahtide õhupidavust saab parandada suka paigaldamisega, aga selleks on vaja, et kogu õhukanal oleks takistustest vaba. Joonis 3.20 on toodud näide ventilatsioonishahtist, kus šahtielemendid ei ole kohakuti ja sukaga saaks seda tihendada.



Joonis 3.20 Ehituslik ventilatsioonishaht, kus šahtielemendid ei ole kohakuti ja sukaga saaks seda tihendada.

## Pliidikubud köögis

Üldiselt on rekonstrueeritava elamu korterites olemas pliidikubud, mis on ühendatud ventilatsioonishahti. Pliidikubus paiknev ventilaator tekitab šahti ülerõhu ja ebatiheduste kaudu levivad söögilõhnad teistesse korteritesse. Probleemi võib lahendada šahtide tihendamise või šahtis alarõhu tekitamisega. Pliidikubude šahtides saab tekitada alarõhku väljatõmbeventilaatori paigaldamisega, mis hoiab sagedusmuunduri abil šahtis ettenähtud alarõhku. Lisaks tuleks eemaldada pliidikubudest ventilaatorid või paigaldada uus ventilaatorita seade ja kuhu ühenduskanalile paigaldada õhuklapp. Kui pliidikubusid ei kasutata, peavad õhuklapid olema suletud ja siis on ka väljatõmbe õhuvooluhulk väike. Pliidikubude kasutamisel avatakse õhuklapp, alarõhk šahtis langeb, katuseventilaatori pöörded suurendatakse ja õhuvahetus köögis suureneb. Selle lahenduse miinuseks on see, et ventilaatorita ja õhuklapiga varustatud pliidikubu ei tekita müra ning inimesed võivad klapi lahti unustada ja seeläbi suurendada oluliselt hoone küttekulu.

## Ventilatsioonisüsteemi puhtus

Ehituse ajal on väga oluline hoida ventilatsioonitorustik suletuna, et vältida ehitustolmu jms. sattumist torustikku. Ventilatsioonikanalite avad peavad objektile tuues olema korgitud ja need tohib eemaldada enne paigaldamist. Lisaks peavad ka plafoonid, õhujagaja jms elemendid olema suletud, kuni objektil on lõppenud tolmu tekitavad tööd ning koristus on tehtud. Enne objekti üleandmist tellijale on töövõtjal kohustus ventilatsioonitorustikud puhastada ja esitada tellijale torustike ülevaatuse videoreport tellija poolt ettenäidatud kohtadest. Torustike puhastusaste peab vastama Soome standardile Suomen Sisäilmayhdistys „Sisäilmastoluokitus 2008” visuaalsele puhtusklassile  $P1 \leq 0,7 \text{ g/m}^3$ .

### 3.3.1 Müraarvutus

Ventilatsioonisüsteemi projekteerides tuleb kindlasti teha müraarvutused. Kontrollida tuleb nii seda, et ruumi ei jõuaks liigset tehnosüsteemide tekitatavat müra, kui ka seda, et ei väheneks ruumidevaheline heliisolatsioon. Müra võib liikuda mööda ventilatsioonikanalit ühest ruumist teise ja probleem on tõsine, kui ühest korterist on võimalik kuulda, mida teises korteris tehakse. Seega on müraarvutus oluline ja enne arvutamist tuleks teada mõningaid põhitõdesid.

Esiteks on oluline teha vahet helivõimsustasemel ja helirõhutasemel. Helivõimsustase on suhteline helivõimsus, mis määratakse detsibellides (dB) kuuldeläve helivõimsuse suhtes ehk lihtsustatult heli/müra tugevus. Helirõhutase on helitase, mida inimene tunnetab allikast mingil kindlal kaugusel, kindlate parameetritega ruumis. Mürallaika lähedal on helirõhutase sarnane helivõimsustasemega, aga allikast eemaldudes hakkab helirõhutase vähenema ja seda kiiremini, mida suurem ning pehmemate pindadega on ruum. Hooneid ehitades on oluline tagada sobilik helirõhutase kogu inimeste viibimise tsoonis. Tehnosüsteemide seadmete kataloogides antakse tihtipeale tekitatav helirõhutase, aga see kehtib ainult sarnastes tingimustes, kus seadet on katsetatud. Paigutades seadme väiksema ja kõvemate pindadega ruumi nurka, tajutakse ruumis kindlasti kataloogis toodud väärtusest tugevamat müra. **Seadmete valikuprogrammides ja kataloogides on oluline jälgida, kas on antud helivõimsustase (ingl k *sound power*) või helirõhutase (ingl k *sound pressure*) ning mis tingimustel.**

Teiseks, erineva mürallaikad liituvad, aga mitte aritmeetiliselt, vaid logaritmiselt. See tähendab seda, et kui ühe mürallaika lähedal asub sama tugevat müra tekitav allikas, siis tõuseb kokkuvõttes helirõhutase, aga mitte 2xdB. Kui liituvat mürallaika helirõhutase on oluliselt madalam, siis on kokkuvõttes mürataseme tõus märkamatu. Helivõimsustasemete liitumist on võimalik arvutada valemiga (3.1) (Halme ja Seppänen 2002):

$$L_w = 10 \lg(10^{\sum_i (L_{wi} / 10)}) \quad (3.1)$$

kus:  $L_w$  summaarne helivõimsustase, dB,  
 $L_{wi}$  üksiku allika helivõimsustase, dB.

Näiteks, kui on kolm mürallaikat vastavalt helivõimsustasemetega 36, 35 ja 30 dB, siis on nende summaarne helivõimsustase:

$$L_w = 10 \lg(10^{\frac{36}{10}} + 10^{\frac{35}{10}} + 10^{\frac{30}{10}}) = 39,1 \text{ dB}$$

Kui ära võtta mürallaikas võimsustasemega 30 dB, siis summaarne müratase võrreldes eelnevaga oluliselt ei vähene:

$$L_w = 10 \lg(10^{\frac{36}{10}} + 10^{\frac{35}{10}}) = 38,5 \text{ dB}$$

Kui ära võtta mürallaikas võimsustasemega 35 dB, siis summaarne müratase väheneb oluliselt:

$$L_w = 10 \lg(10^{\frac{36}{10}} + 10^{\frac{30}{10}}) = 37,0 \text{ dB}$$

Kui arvutada mitme mürallaika summaarset mürataset, tuleb kindlasti arvesse võtta ka kaugust erinevatest allikatest konkreetsetes punktis. **Tehnosüsteeme projekteerides tuleb arvestada, et ühesuguste helivõimsustasemetega allikate mürad liituvad.**

Kolmandaks, helivõimsustase on erinevatel sagedustel erinev ja see on müraarvutust tehes oluline. Tavapäraselt antakse tehnosüsteemide mürallaikate helivõimsustasemed oktaavribade kaupa, nii nagu on näha Tabel 3.6 esimesel real. Inimkõrv on üldiselt tundlikum kõrgema sagedusega helidele ja seetõttu kasutatakse tavaliselt helivõimsustasemete A-korrigeeritud väärtusi, mis vähendavad madalamate sageduste

osatahtsust müras. Tabel 3.6 teisel real on näha väärtused, mis liidetakse müra erinevatele sagedusele, et arvutada A-korrigeeritud helivõimsustasemed oktaavribade kaupa. Üldjuhul esitatakse nõuded tehnosüsteemide mürale, mis on korrigeeritud A-sagedusfiltriga ja ühikuks on dB(A). **Seadmete valikuprogrammidest ja kataloogidest müraandmeid lugedes on oluline jälgida, kas need on mõne sagedusfiltri järgi korrigeeritud.**

Tabel 3.6 Müraallika A-korrigeeritud helivõimsusetaseme arvutamine.

Müra sagedus, Hz	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	Kokku
Helivõimsustase allikast, dB	51	53	56	59	55	55	45	39	64
A-korrektsoon	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
A- korrigeeritud helivõimsustase, dB(A)	25	36	48	56	55	56	46	38	64

Müraallika summaarse helivõimsustaseme arvutamiseks tuleb erinevate oktaavribade helivõimsustasemed kokku liita sarnaselt erinevate müraallikate helivõimsustasemete liitmisega. Selleks saab kasutada valemit 3.2 (Halme ja Seppänen 2002):

$$L_A = 10 \lg(10^{\sum_i (L_{Ai} / 10)}) \quad (3.2)$$

Valemeid 3.1 ja 3.2 on võimalik tabelarvutusprogrammis, näiteks Excel, kasutada, sisestades lahtrisse:  $\{=10*\text{LOG}(\text{sum}(10^{(A3:H3/10)}))\}$

kus A3:H3 on lahtrid, kus asuvad liituvad helivõimsustasemed. Oluline on lisada valemile looksulud.

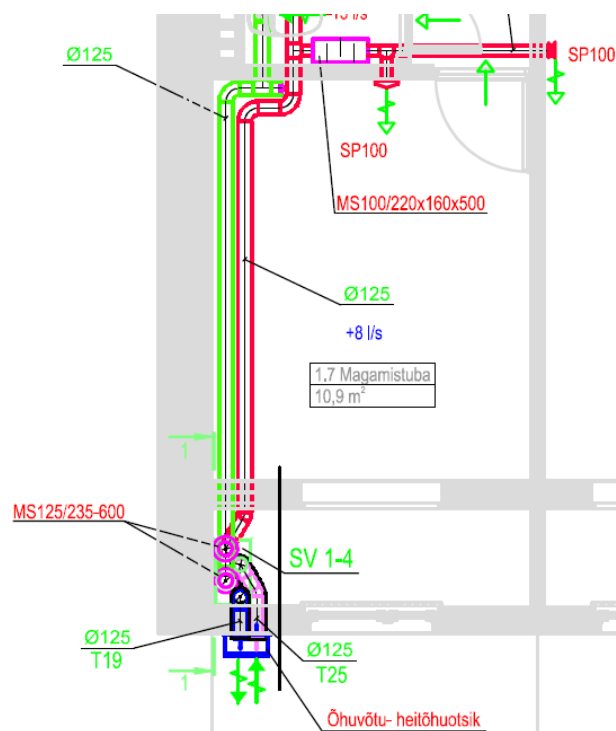
### Ventilatsiooniseadme müra ruumis

Ventilatsiooniseadme tekitatava mürataseme arvutamiseks saab kasutada kas vastavat tarkvara või arvutustabelit, mille kohta toome siinkohal ka näite. Ventilatsiooniseadme poolt ruumides tekitatava mürataseme nõuetele vastavuse kontrolliks tuleb välja valida kriitiline ruum või mitu ruumi. Kriitilise ruumi valimiseks tuleb arvestada järgnevat:

- ventilatsiooniseadme müra on suurem seadmele lähemal asuvates õhujagajates ja plafoonides;
- suuremate mõõtmetega ventilatsioonitorustikus sumbub müra kehvemini ja seega on liigne mürarisk kõrgem suurema õhuvahetusega ruumides;
- väiksemad ja kõvemate pindadega ruumid summutavad müra kehvemini;
- ventilatsioonitorustiku lõppelemendi sumbuvus sõltub elemendi tüübist ja suurusest.

Ventilatsioonisüsteemi poolt kriitilises ruumis tekitava helirõhutaseme jaoks tuleb välja selgitada ventilatsiooniseadme poolt kanalisse tekitatav helivõimsustase ning sellest lahutada torustiku ja teenindatava ruumi sumbuvus. Toome näite neljatoalise korteri ventilatsiooniseadmele lähima sissepuhke õhujagaja tekitatava helirõhutaseme arvutamisest. Joonis 3.21 on kujutatud kriitiline tuba, kus asub ventilatsiooniseadmele lähim sissepuhke õhujagaja. Kui selles ruumis tagatakse helirõhutase alla 25 dB(A), ei teki ka ülejäänud korteris liigse sissepuhketorustiku müraga probleeme.





Joonis 3.21 4-toalise korteri tuba, mille sissepuhke õhujagaja tekitatavat helirõhutaset näitena arutati.

Alustuseks tuleb välja selgitada ventilatsiooniseadme tekitatav helivõimsustase. Üldjuhul annab ventilatsiooniseadme kohta info valikuprogramm või on info kataloogis. Ventilatsiooniseadme sissepuhke helivõimsustase oktaavribade kaupa on toodud Tabel 3.7 esimesel real ja arvutades valemiga 3.2 on seadme sissepuhketorustiku tekitatav helivõimsustase 72,1 dB.

Järgnevalt tuleb helivõimsustasemest aritmeetilisel lahutada torustiku osade sumbuved. Hakates ventilatsiooniseadme poolt liikuma (Joonis 3.21), on esimene märkimisväärne takistus helilainetele hargnemine. Hargnemise sumbuved saab arvutada valemiga 3.3 (Halme ja Seppänen 2002):

$$L_w - L_w' = 10 \log\left(\frac{q_v}{q_v'}\right) \quad (3.3)$$

kus:

$L_w - L_w'$  helivõimsustasemete vahe enne ja pärast hargnemist ehk sumbuved, dB;

$q_v$  õhuvooluhulk enne hargnemist, l/s;

$q_v'$  õhuvooluhulk pärast hargnemist, l/s

Torustikus on enne õhujagajat kaks hargnemist ja nende sumbuved võib aritmeetilisel kokku liita. Esimeses hargnemises on õhuvooluhulk magistraalkanalil 44 l/s, pärast hargnemist on see 20 l/s ja õhujagajas lõpuks 8 l/s. Seega on hargnemiste kogu mürasumbuved:

$$L_w - L_w' = 10 \log\left(\frac{44}{20}\right) + 10 \log\left(\frac{20}{8}\right) = 10 \log\left(\frac{44}{8}\right) = 7,4 \text{ dB}$$

Nagu näha, võib hargnemiste sumbuvede arvutamisel kohe kasutada ventilatsiooniseadme tootlikkuse ja õhujagaja õhuvooluhulga suhet. Arvestada tuleb ka sellega, et suurema õhuvooluhulgaga õhujagajate puhul on hargnemiste sumbuved väiksem ja väikse õhuvooluhulgaga seadmele lähim õhujagaja ei pruugi olla kogu süsteemi müra seisukohast kriitiline. Hargnemise sumbuved võetakse kõigil sagedustel võrdseks ja pärast ventilatsiooniseadme helivõimsusest sumbuvede lahutamist on helivõimsustase 64,7 dB (Tabel 3.7, read 2 ja 3).

Esialgse ventilatsioonilahenduse koostamisel nähti ette ka mürasummutid. Enne kriitilist õhujagajat on üks summuti ja lahutades helivõimsustasemest oktaavribade kaupa mürasummuti kataloogist võetud sumbuvuse (Tabel 3.7, rida 4), saame helivõimsustaseme tulemuseks pärast mürasummuteid (Tabel 3.7, rida 5 ja 7) 49,5 dB.

Enne õhujagajat tuleks helivõimsustasemest lahutada ka torustiku muude osade sumbuvus, kuid see on üldjuhul suhteliselt väike ja käesoleval juhul jätame selle arvesse võtmata (Tabel 3.7, rida 8) ning arvestame, et müraarvutuses tekib vajalik varu.

Ruumi jõudva helivõimsustaseme arvutamiseks tuleb torustikus olevast müratasemest lahutada veel õhujagaja sumbuvus oktaavribade kaupa, mis leiti tootekataloogist (Tabel 3.7, rida 10). Ruumi jõuab helivõimsustase 32,3 dB (Tabel 3.7, rida 11), mille A-korrigeeritud väärtus on 17,4 dB(A) (Tabel 3.7, rida 12), ja helirõhutase arvutamiseks tuleb sellest veel lahutada ruumi sumbuvus, mis on 4 dB (Tabel 3.7, rida 13).

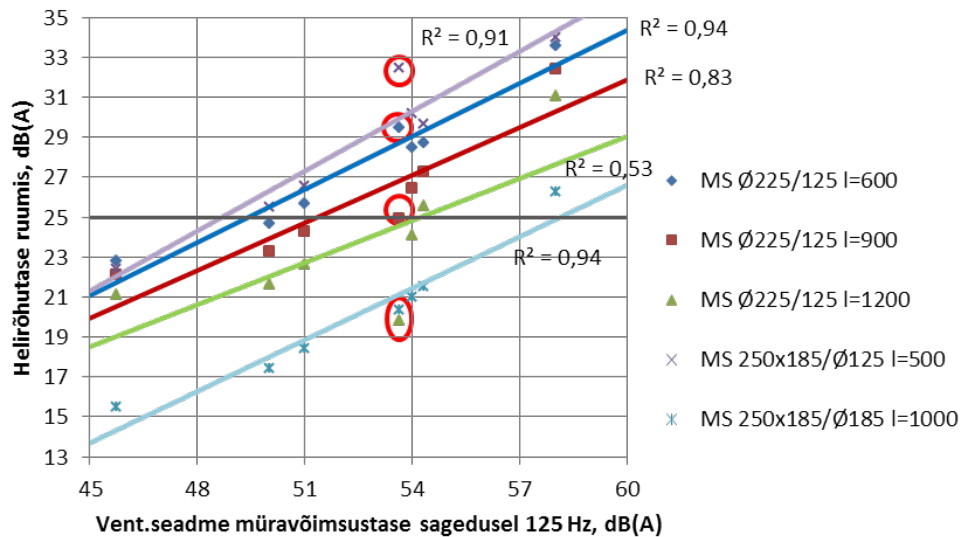
Tabel 3.7 viimaselt realt on näha, et kokkuvõttes on helirõhutase ruumis 13,4 dB(A), mis vastab nõutavale tasemele 25 dB(A). Kui tekiks vajadus mürataset veelgi alandada, tuleks jälgida mürataset oktaavribade kaupa. Antud juhul on müra tugevaim sagedusel 250 Hz ja üldise mürataseme vähendamiseks tuleks eelkõige tegeleda müra summutamisega sellel sagedusel. Tavapäraselt osutuvadki ventilatsioonisüsteemide puhul kriitiliseks sagedused 125 ja 250 Hz.

Lisaks sissepuhke mürataseme arvutamisele tuleb analoogne arvutus teha ka väljatõmbetorustiku kohta

Tabel 3.7 Neljatoalise korteri kriitilise ruumi helirõhutase arvutus.

Müra sagedus, Hz	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	Kokku
1. Müra ventilatsiooniseadmest, dB	66	68	66	62	54	47	36	25	<b>72,1</b>
2. Sumbuvus hargnemistes 44/8, dB	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
3. Müra pärast hargnemist, dB	59	61	59	55	47	40	29	18	<b>64,7</b>
4. Sumbuvus mürasummutis MS125/235-600, dB	-3	-6	-13	-24	-35	-43	-25	-16	
5. Müra pärast summutit, dB	56	55	46	31	12	0	4	2	<b>58,4</b>
6. Sumbuvus mürasummutis MS100/220/160-500, dB	-7	-13	-14	-28	-40	-38	-29	-17	
7. Müra pärast summutit, dB	49	42	32	3	0	0	0	0	<b>49,5</b>
8. Sumbuvus torustikus, dB	0	0	0	0	0	0	0	0	
9. Müra torustikus enne õhujagajat, dB	49	42	32	3	0	0	0	0	<b>49,5</b>
10. Sumbuvus õhujagajas, dB	-21	-12	-8	-4	-1	0	-3	-4	
11. Müra pärast õhujagajat, dB	28	30	24	0	0	0	0	0	<b>32,3</b>
12. A-korrigeeritud helirõhutase, dB(A)	1	13	15	0	0	0	0	0	<b>17,4</b>
13. Ruumi sumbuvus, dB	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
<b>Helirõhutase ruumis, dB(A)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13,4</b>

Ventilatsioonisüsteemi põhjustatud helirõhutase ruumis sõltub otseselt ventilatsiooniseadme helivõimsustasemest. Tavaliselt osutub kriitiliseks müratase sagedusel 125 Hz ja teades ventilatsiooniseadme helivõimsustaset sellel sagedusel, saab teha mürasummuti valiku. Esialgse valiku saab teha Joonis 3.22 abil, kus on toodud helirõhutase ruumis sõltuvalt ventilatsiooniseadme helivõimsustasemest sagedusel 125 Hz ja mürasummuti tüübist ning pikkusest. Valdavalt osutub kriitiliseks müratase sagedusel 125 Hz ja toodud graafikud sobivad hästi sellistel juhtudel. Kõrgematel sagedustel sõltub sumbuvus mürasummuti pikkusest rohkem kui madalama sagedusega müra puhul. Joonisel on punase ringiga tähistatud üks ventilatsiooniseade, mille korral osutusid kriitiliseks sagedused 250 või 500 Hz sõltuvalt mürasummutist. Selle seadme puhul on pikemate mürasummutitega ruumis keskmisest madalam ja lühemate mürasummutite puhul suurem müratase. Seega sobivad joonisel toodud andmed ainult mürasummuti esialgseks valikuks ja iga projekti puhul tuleb teha ka eespool kirjeldatud müraarvutus.



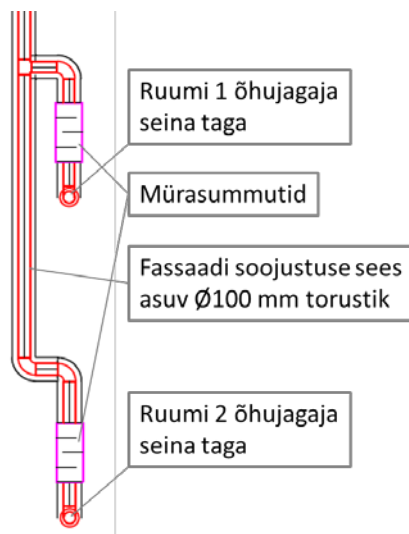
Joonis 3.22 Mürasummuti esialgne valik ventilatsiooniseadme helivõimsustaseme järgi sagedusel 125 Hz. Punase ringiga on tähistatud ventilatsiooniseade, mille puhul pole kriitiline müra sagedusel 125 Hz.

### Ruumidevaheline müra

Korterite ventilatsiooni projekteerimist mõjutavad lisaks tehnosüsteemide mürataseme tagamise nõudele ( $L_pA$ , eq,  $T < 25\text{dB}$ ) ka ruumidevahelise heliisolatsiooni tagamise kriteeriumid. Eesti standardi EVS 842:2003 „Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“ kohaselt on õhumüra isolatsiooniindeksi  $R'w$  piirsuurused järgmised:

- erinevate korterite eluruumide vahel  $R'w \geq 55\text{ dB}$ ;
- ühe korteri ruumide vahel  $R'w \geq 43\text{ dB}$  (vahelaed tubade vahel kahekorruselises korteris, usteta vaheseinad tubade vahel, köögi ja toa vahel).

Müral on võimalik liikuda ühest ruumist teise ventilatsioonitorustiku kaudu ja see võib iseäranis suureks probleemiks osutuda, kui heliisolatsioon erinevate korterite vahel pole piisavalt kvaliteetne. Heliisolatsiooni hindamiseks tuleb arvutada ruume ühendava ventilatsioonitorustiku summutus (vt Joonis 3.23 toodud näide).



Joonis 3.23 Fassaadi soojustuse sees on sissepuhketorustik, mis teenindab erinevate korterite ruume. Torustiku takistus peab olema vähemalt 55 dB, mis saavutatakse torustikule mürasummutite lisamisega.

Ruumidevahelise ventilatsioonitorustiku müratakistuse arvutamiseks selgitame välja müratasemete vahe ühes ruumis, kui teises ruumis on kindel müratase. Eeldame, et

Joonis 3.23 ruumis 1 on mürarõhk kõigil sagedustel 70 dB (Tabel 3.8, rida 1), mis ligikaudu vastab näiteks tolmuimeja tekitavale mürale ja arvutame helirõhu ruumis 2. Eeldame, et õhujagaja avade pindala on võrdne Ø100 mm ühendustoru ristlõike pindalaga ja sellest tulenevalt on müra sumbuvus 27 dB (Tabel 3.8, rida 2), mis on madalamatel sagedustel väiksem, ning tuleb oktaavribade kaupa korrigeerida (Tabel 3.8, rida 3). Järgnevalt selgitame välja heli sumbuvised ka hargnemises, õhujagajas ja ruumis 2 (Tabel 3.8, read 4–6) ning lahutame kõik sumbuvised ruumi 1 helirõhutasemest, et teada saada ruumi 2 helirõhutaseme, mis on 53,3 dB (Tabel 3.8, rida 7). Seega on ilma mürasummutita helirõhutasemete vahe 35,8 dB, mis ei rahulda nõuet 55 dB. Lisades kummagi ruumi harule 500 mm kandilise mürasummuti, suureneb torustiku sumbuvus (Tabel 3.8, rida 9) ja mürarõhk ruumis 2 on 30,8 dB (Tabel 3.8, rida 10) ning mürarõhkude vahe on 58,2 dB. Toodud näites ei arvestatud torustiku sumbuusega, aga see on suhteliselt väike ning sellega mittearvestamine suurendab varu.

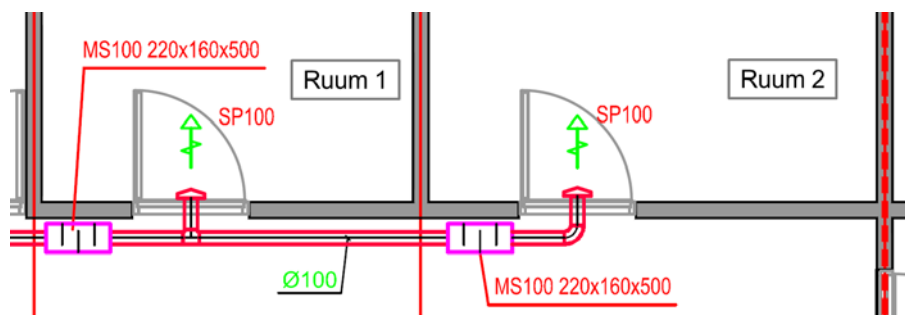
**Arvutused näitavad, et korteri kahte erinevat eluruumi ühendava torustiku jaoks tuleb ette näha vähemalt kaks 500 mm pikkust mürasummutit või üks 1000 mm pikkune kandiline mürasummuti.**

Tabel 3.8 Ruumidevahelise ventilatsioonitorustiku müra sumbuvuse arvutus.

Müra sagedus, Hz	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	Kokku
Mürarõhk ruumis 1, dB	70	70	70	70	70	70	70	70	79,0
Sumbuvus õhujagajasse sisenemisel	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	
Sumbuvuse muutus sõltuvalt sagedusest	16	12	8	4	0	0	0	0	
Sumbuvus hargnemises 1/2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
Sumbuvus õhujagajas	-21	-12	-8	-4	-1	0	-3	-4	
Ruumi 2 sumbuvus	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
Mürarõhk ruumis 2, dB	31	36	36	36	35	36	33	32	43,7
Ruumide 1 ja 2 mürarõhkude vahe, dB									<b>35,3</b>
Kahe mürasummuti sumbuvus kokku	12	20	26	46	72	86	66	36	
Mürarõhk ruumis 2 pärast mürasummuti lisamist, dB	19	16	10	0	0	0	0	0	21,0
Ruumide 1 ja 2 mürarõhkude vahe pärast mürasummuti lisamist, dB									<b>58,0</b>

Kui kahe ruumi vahel ei ole avasid või läbiviike, on heliisolatsiooni kriteeriumit  $R'w \geq 43$  dB võimalik tagada väga paljude tarindilahendustega. Kui kaks kõrvuti asetsevat ruumi on ühenduses koridori kaudu (kaks suletavat ust koridori ja tubade vahel), väheneb heliisolatsioon ~3...5 dB võrra. Seega võivad inimesed kogemuspõhiselt oodata kahe ruumi vaheliselt seinalt heliisolatsiooni  $R'w \geq 39...37$  dB. Seda näitajat ei tohiks tehnosüsteemid halvendada.

Kui soovitakse takistada korterisisest müra levikut, tuleks kasutada müra takistavaid uksi, näha ette mürasummutavad siirdõhuklapid ja paigaldada korterisisesele ventilatsioonitorustikule mürasummutid, nagu on näidatud Joonis 3.24.



Joonis 3.24 Ühe korteri ruumidevahelisele ventilatsioonitorustikule on paigaldatud mürasummuti.



## Heliisolatsiooni toodete asendamine

Tavapärastelt tehakse heliisolatsiooni arvutus küll põhiprojekti staadiumis, aga tihti kasutatakse ehitamisel projektlahendusest erinevaid tooteid. Ruumide helirõhutaset mõjutavad ventilatsioonitorustiku elementidest peamiselt ventilatsiooniseadme müratase ja mürasummuti ning õhujagaja sumbuvus. Seetõttu tuleks nende toodete asendamisel kontrollida, kas pärast muudatusi on ruumides nõutud helirõhutase. Selleks tuleks võrrelda esialgse ja muudatusena välja pakutud lahenduste muraandmeid sagedustel 125, 250 ja 500 Hz, nagu on näidatud Tabel 3.9. Esialgse lahenduse müranäitajad tuleb võtta kas projektist või näitena kasutatud toodete kataloogidest. Ventilatsiooniseadme müravõimsustasemest tuleks lahutada mürasummuti ja õhujagaja sumbuvised ning jälgida, et ühegi oktaavriba tulemus ei ületaks esialgse lahenduse oma. Tabel 3.9 on näiteks 125 Hz sagedusel muudatusettepaneku summa suurem kui esialgse lahenduse oma. Sel juhul tuleks kogu süsteemi müraarvutus uuesti teha ja vajadusel väljapakutud tooteid muuta.

Tabel 3.9 Ventilatsioonisüsteemi muudatuste mürakontroll.

	Esialgne			Muudatusettepanek		
	125	250	500	125	250	500
Oktaavriba sagedus, Hz	125	250	500	125	250	500
Ventilatsiooniseadme helivõimsustase, dB	68	66	62	69	63	57
Mürasummuti sumbuvus, dB	-13	-14	-28	-8	-18	-34
Õhujagaja sumbuvus, dB	-12	-8	-4	-15	-12	-9
<b>Helivõimsustase – sumbuvised, dB</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>33</b>	<b>14</b>

### 3.3.2 Torustiku rõhulangude arvutus

Ventilatsioonisüsteemide torustiku rõhulangu arvutus on vaja teha selleks, et

- välja selgitada torustiku rõhulang ventilatsiooniseadme valimiseks ja ventilaatorite elektri eritarbimise (SFP) arvutamiseks;
- valida torustiku lõppelemendid ja reguleerarmatuur nii, et ehituse järgselt oleks võimalik õhuvooluhulgad seadistada vastavalt projekteeritule ja et ventilatsioonisüsteem ei tekitaks liigset müra.

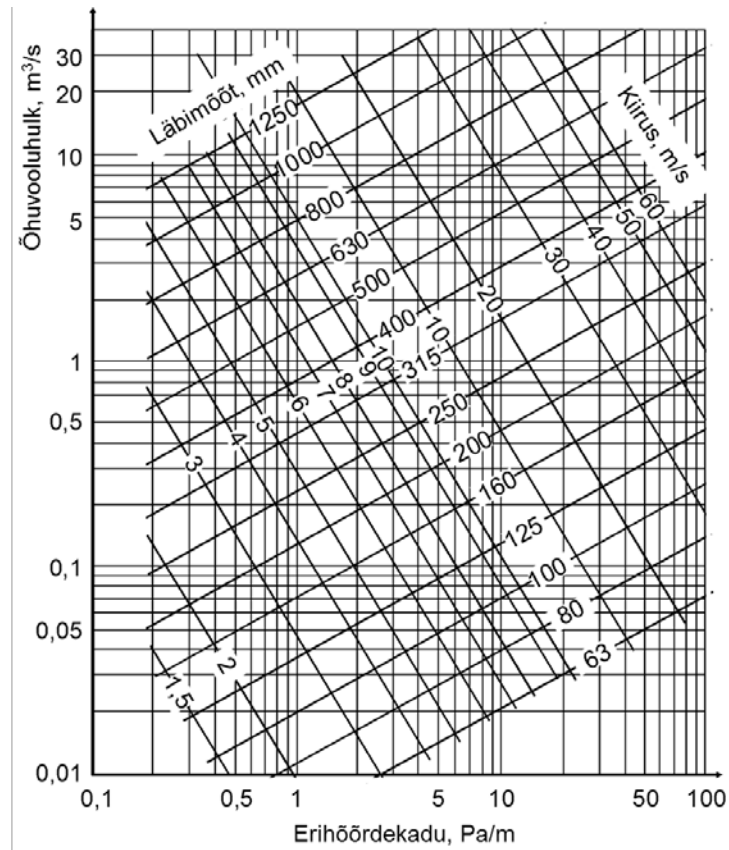
Ventilatsioonitorustiku rõhulang koosneb

- rõhukaost hõõrdele;
- kohtkistuste rõhukaost, näiteks põlved, kolmikud, lõppelemendid ja reguleerklapid.

Ventilatsioonitorustiku rõhukadu on võimalik arvutada selleks ette nähtud tarkvaraga või tabelarvutusega, mille kohta toome näite käesolevas peatükis.

#### Rõhukadu hõõrdele

Ventilatsioonikanalite rõhukadu sõltub torustiku läbimõõdust ja õhuvoolu kiirusest. Mida väiksem on torustiku läbimõõt, seda suurem on kindla õhuvoolu liikumise kiiruse juures erihõõrdekadu. Joonis 3.25 toodud ventilatsioonikanalite erihõõrdekadude nomogrammilt on võimalik saada infot erineva läbimõõduga ventilatsioonikanalite kohta. Üldiselt peaks jälgima, et ventilatsioonikanalite erihõõrdekadu ei ületaks 1 Pa/m.



Joonis 3.25 Ümmarguste sileda seinaga ventilatsioonikanalite erihõrdekadu.

### Kohttakistuste rõhukadu

Kohttakistuste rõhukadu sõltub üldiselt õhu liikumise kiirusest ja takistuse kohttakistustegurist. Kohttakistuse rõhukadu saab arvutada valemiga 3.4:

$$\Delta p = \xi \cdot p_d \quad (3.4)$$

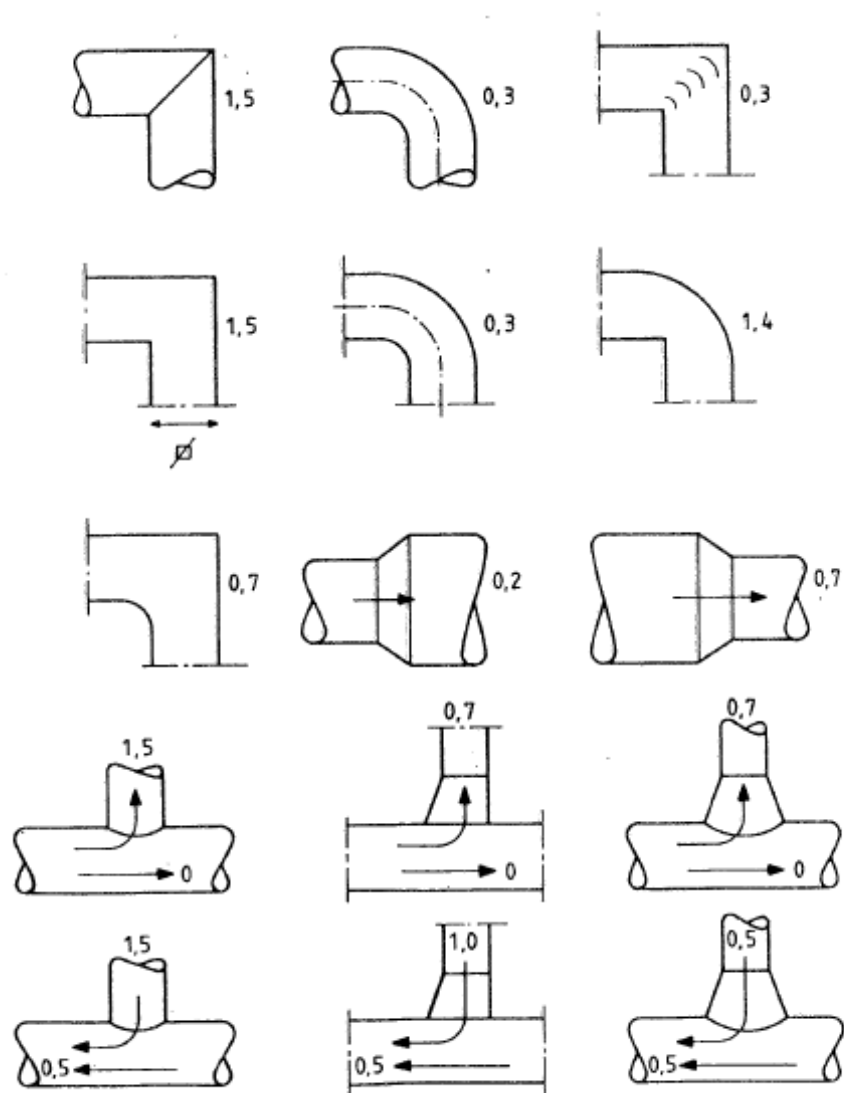
kus  $\Delta p$  rõhulang, Pa  
 $\xi$  kohttakistustegur, -  
 $p_d$  dünaamiline rõhk, Pa

Dünaamilist rõhku saab arvutada valemiga 3.5:

$$p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (3.5)$$

kus  $p_d$  dünaamiline rõhk, Pa  
 $\rho$  õhu tihedus, kindlal temperatuuril ( $\rho_{+20^\circ\text{C}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ )  
 $v$  õhu kiirus, m/s

Levinuimate torustikuosade kohttakistustegurid on toodud Joonis 3.26. Jooniselt on näha, et põlvede ja kolmikute kohttakistustegurid võivad mitu korda erineda ning seetõttu tuleb alati paigaldada projektijärgsed ning korraliku kvaliteediga torustiku ühendused.



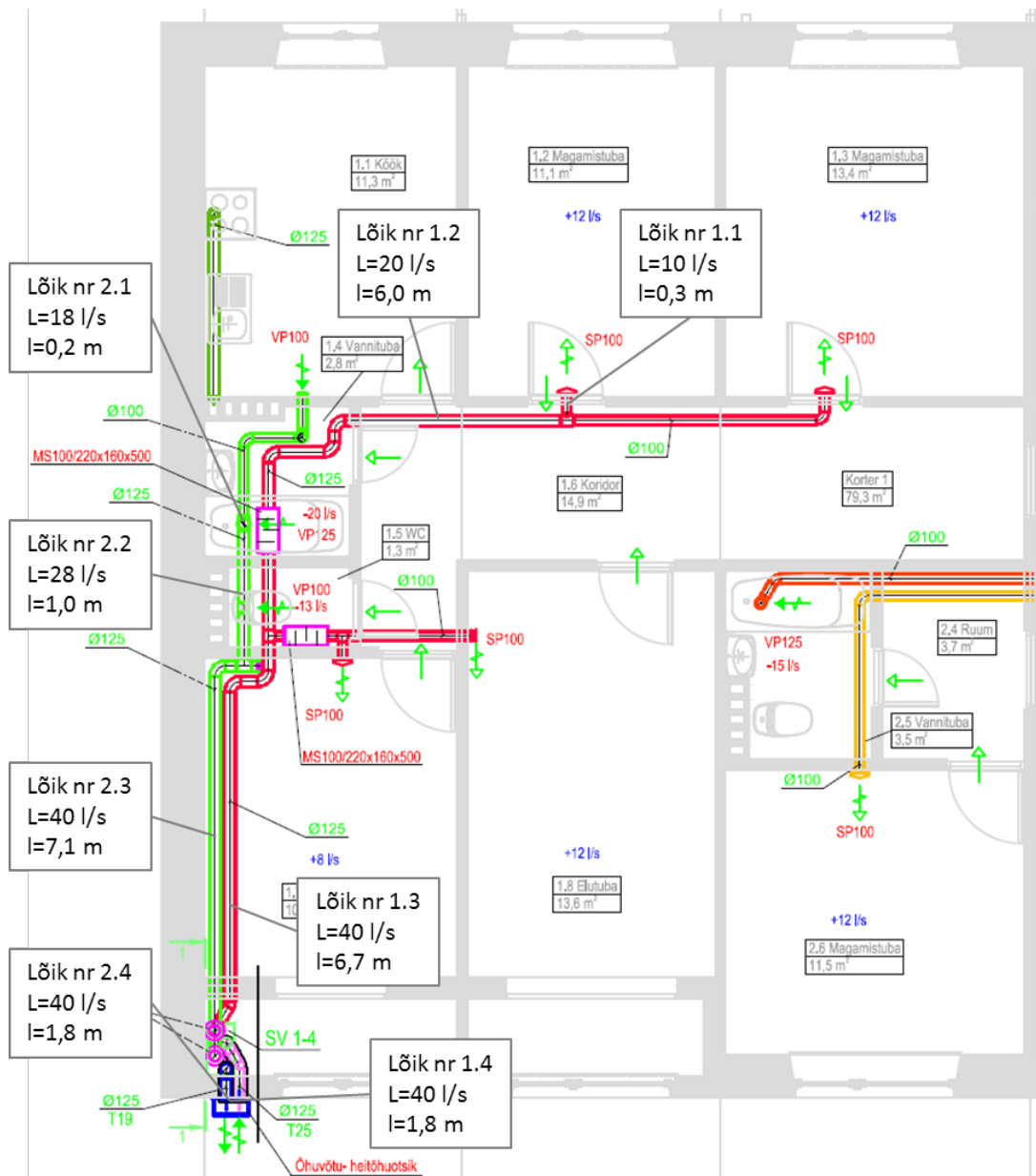
Joonis 3.26 Levinuimad kohttakistustegurite sihtarvud.

Lisaks ventilatsioonikanalite ühendusosadele on oluliseks takistuseks torustiku õhujagajad, plafoonid jt lõppelemendid. Nende kohttakistustegureid pole tavaliselt teada või on need reguleeritavad. Seetõttu tuleb lõppelementide takistused võtta vastavate toodete valikuprogrammidest või kataloogidest. Näiteid nende kohta võib leida eelmistes peatükkides (vt Joonis 3.4, Joonis 3.5 ja Joonis 3.6).

### Torustiku rõhukadu

Torustiku rõhukao arutamiseks tuleb jagada torustik lõikudeks, nagu on näidatud Joonis 3.27. Joonisel on tähistatud lõigud, mille kogutakistus õhujagaja või plafoonini on suurim. Sealhulgas on oluline arvutada ka õhuvõtu- ja heitõhutorustiku takistused. Sissepuhke- ja väljatõmbetorustiku lõigud on tähistatud vastavalt 1.x ja 2.x. Järgnevalt tuleb täita arvutustabel näiteks nii, nagu on tehtud Tabel 3.10. Lahtrite „Erihõrdekadu“ väärtused on leitud vastavalt nomogrammilt (Joonis 3.25), lahtrites „Kohttakistustegurite summa“ on vastava lõigu kohttakistustegurid (Joonis 3.26) kokku liidetud ja lahtris „Rõhukadu lõppelemendis“ on takistused nii plafoonides kui ka kombineeritud õhuvõtu- ja heitõhurestis. Mürasummutite takistusi pole lisaks vaja arvesse võtta, sest need on sama siseläbimõõduga kui ventilatsioonikanalid.

Näiteks toodud ventilatsioonitorustiku sissepuhke- ja väljatõmbetorustiku rõhulangud on vastavalt 50 ja 70 Pa.



Joonis 3.27 Ventilatsioonitorustiku rõhukao arvutuskeem.

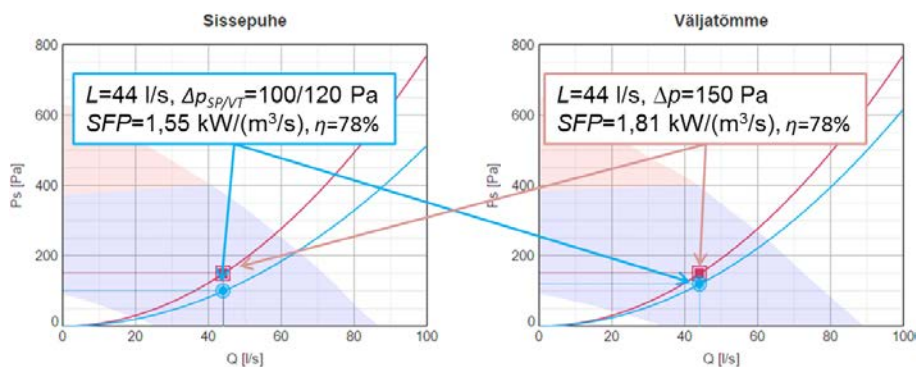


Tabel 3.10 Ventilatsioonitorustiku rõhukao arvutustabel.

Lõigu nr.	Õhuvoolu-hulk L, l/s	Lõigu pikkus l, m	Kanali iabimõõt, mm	Õhu kiirus, m/s	Erihõõrdekadu, Pa/m	Rõhukadu hõõrdele lõigul, Pa	Dünaamiline rõhk $p_{di}$ , Pa	Kohttakistustegurite summa lõigul $\Sigma \zeta_i$	Kohttakistuste rõhukadu, Pa	Rõhukadu lõppelemendis, Pa	Kogurõhukadu lõigul, Pa
1.1	10	0,3	100	1,3	0,3	0,09	1,0	1,5	1,5	6	7,5
1.2	20	6,0	100	2,5	1,0	6,00	3,9	0,9	3,5		9,5
1.3	40	6,7	125	3,3	1,1	7,37	6,4	1,0	6,4		13,7
1.4	40	1,8	125	3,3	1,1	1,98	6,4	0,4	2,5	13	17,5
<b>Sissepuhketorustiku kogurõhukadu 48 Pa</b>											
2.1	18	0,2	125	1,5	0,1	0,0	1,3	1,5	1,9	36	38,0
2.2	28	1,0	125	2,3	0,6	0,6	3,1	0,0	0,0		0,6
2.3	40	7,1	125	3,3	1,1	7,8	6,4	2,1	13,4		21,2
2.4	40	1,8	125	3,3	1,1	2,0	6,4	0,3	1,9	4	7,9
<b>Väljatõmbetorustiku kogurõhukadu 68 Pa</b>											

### Ventilaatorite elektri eritarbimise arvutamine

Esialgse ventilatsiooniseadme valimisel eeldati, et torustiku rõhulangud on 100 Pa ning esialgsed ventilaatorite elektrienergia eritarbimised (SFP) arvutati vastava takistusega. Rõhukadude arvutuste põhjal saab täpsustada ventilatsiooniseadmete elektrienergia eritarbimist. Esialgsses valikus lisasime torustiku eeldatavale rõhulangule 50 Pa, sest valikuprogramm annab SFP puhaste filtrite puhul, aga energiaarvutuses tuleb arvestada keskmiselt mustunud filtritega. Seega tuleb täpsustatud andmete saamiseks ka torustiku rõhulangule lisada 50 Pa. Seega on sissepuhke- ja väljatõmbetorustiku valikuprogrammi sisestatavad rõhulangud vastavalt 100 ja 120 Pa. Joonis 3.28 on näha, et torustiku rõhulangu korrigeerimisel väheneb esialgne SFP 1,79 kW/(m<sup>3</sup>/s) väärtuseni 1,52 kW/(m<sup>3</sup>/s). Soojustagasti temperatuuri suhtarv rõhulangu korrigeerimisel ei muutunud.



Joonis 3.28 Ventilatsiooniseadme energiatõhusust iseloomustavad andmed enne ja pärast seadmevälise torustiku rõhulangude täpsustamist (Systemair).

Korrigeeritud ventilaatorite elektrienergia eritarbimise põhjal saab ümber arvutada ka ventilaatorite elektrienergia kulu valemiga 3.6:

$$E_v = SFP \cdot L \cdot \tau \quad (3.6)$$

kus  $E_v$  elektrienergia kulu, kWh  
 $SFP$  ventilaatorite eritarbimine, kW/(m<sup>3</sup>/s)  
 $L$  õhuvooluhulk, m<sup>3</sup>/s  
 $\tau$  kasutusaeg, tavaaastal 8760 h

Esialgu valitud ventilatsiooniseadme aastane elektrienergia kulu oli:

$$E_v = 1,81 \cdot 0,044 \cdot 8760 = 698 \text{ kWh}$$

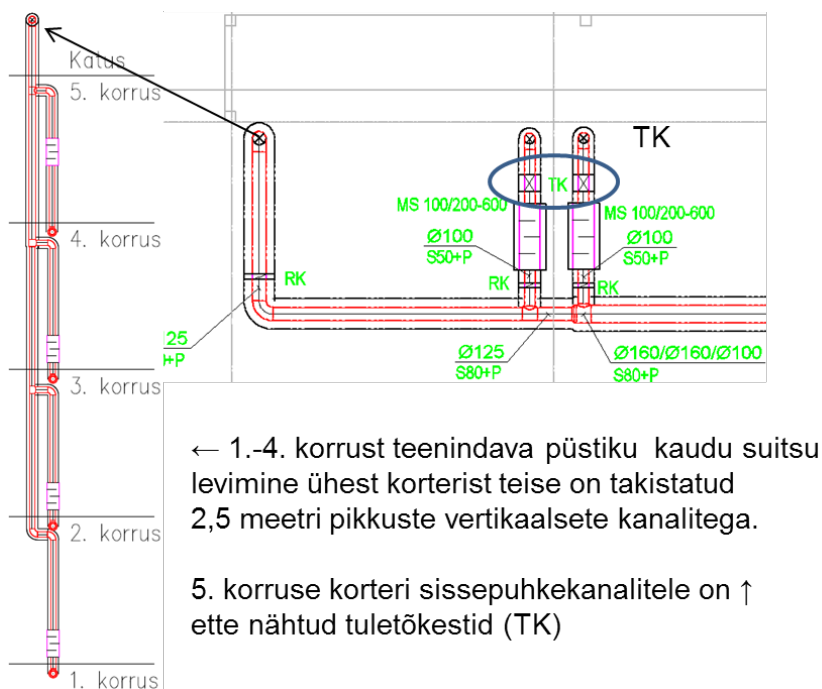
Täpsustatud andmetega ventilatsiooniseadme elektrienergia kulu on:

$$E_v = 1,55 \cdot 0,044 \cdot 8760 = 597 \text{ kWh}$$

Täpsustatud andmete põhjal tuleks korrigeerida ka esialgu tehtud energia- ja tasuvusarvutusi.

### 3.3.3 Tuleohutus

Korterealmu on jaotatud tuletõkkeseksioonideks vastavalt projekti tuleohutus lahendusele. Korterealmu korterid ja trepikoda on igaüks omaette tuletõkkeseksioon ning rekonstrueerimistööde käigus ei tohi vähendada nende vaheliste piirete tulepüsivust. Selleks tuleb erinevaid tuletõkkeseksioone teenindava torustiku puhul ette näha tuleohutust tagavad meetmed. Tuletõkkeseksioonide piirideid läbivatele ventilatsioonikanalitele saab paigaldada tuletõkestid, mis peavad olema ka ligipääsetavad, kui need sulguvad. Lisaks võib välisseinal või selle lisasoojustuse kihis paiknevate püstikute puhul kasutada ka vertikaalseid kanaleid, mille vertikaalse osa pikkus on vähemalt 2,5 meetrit (EVS 812, Joonis 3.29). Täpsemalt on ventilatsioonisüsteemide tuleohutust käsitletud standardis EVS 812-2:2005.



Joonis 3.29 Tuleohutus tsentraalse sissepuhketorustikuga, mis paikneb fassaadisoojustuses.

## 4 Kasutatud kirjandus

- D2. (2012). Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.
- EKK (1994). Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Ehituskonstrueerimise ja katsetuste AS.
- EstKonsult (1996). Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Inseneribüroo EstKonsult;
- ETAG 004. (2000). Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering.
- ETS NORD AS. [www.etsnord.com](http://www.etsnord.com)
- EVS 812. Ehitiste tuleohutus. Osa 2: Ventilatsioonisüsteemid. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 10211. Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 10456. Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 13789 Thermal performance of buildings - Transmission heat loss - Calculation method. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 6946. Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetod. Eesti Standardikeskus.
- Fläkt Woods Group. [www.flaktwoods.com](http://www.flaktwoods.com)
- Gritsenko, S. (2009). Nõukogudeaegsete tüüpsete suurpaneelilamute uuring. Tallinna Tehnikakõrgkool.
- Halme, A.; Seppänen, O (2002). Ilmastoinnin ääniteknikka. Soome kütte- ja ventilatsiooniinseneride liit.
- Halton Group. [www.halton.com](http://www.halton.com)
- ISO 9869-1. Thermal insulation -- Building elements -- In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance -- Part 1: Heat flow meter method. Eesti Standardikeskus.
- Julkisivujen korjausopas. Toim. E. Jukkola.
- Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Ilomets, S., Mikola, A., Link, S. (2014). Sõpruse pst 224, korterelamu renoveerimisjärgne uuring. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T.; Arumägi, E.; Just, A.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Thalfeldt, M.; Klõšeiko, P.; Agasild, T.; Liho, E.; Haug, P.; Tuurmann, K.; Liias, R.; Öiger, K.; Langeproon, P.; Orro, O.; Välja, L.; Suits, M.; Kodi, G.; Ilomets, S.; Alev, Ü.; Kurik, L. (2011). Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga : uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T.; Ilomets, S.; Liias, R.; Raado, L.-M.; Kuusk, K.; Maivel, M.; Ründva, M.; Klõšeiko, P.; Liho, E.; Paap, L.; Mikola, A.; Seinre, E.; Lill, I.; Soekov, E.; Paadam, K.; Ojamäe, L.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Kõiv, T.-A. (2012). Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord - ajavahemikul 1990-2010 kasutusele võetud korterelamud : uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
- Kalamees, T.; Ilomets, S.; Liias, R.; Raado, L.-M.; Kuusk, K.; Maivel, M.; Ründva, M.; Klõšeiko, P.; Liho, E.; Paap, L.; Mikola, A.; Seinre, E.; Lill, I.; Soekov, E.; Paadam, K.; Ojamäe, L.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Kõiv, T.-A. (2012). Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord - ajavahemikul 1990-2010 kasutusele võetud korterelamud : uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool;

- Kalamees, T.; Õiger, K.; Kõiv, T.-A.; Liias, R.; Kallavus, U.; Mikli, L.; Lehtla, A.; Kodi, G.; Luman, A.; Arumägi, E.; Mironova, J.; Peetrimägi, L.; Korpen, M.; Männiste, L.; Murman, P.; Hamburg, A.; Tali, M.; Seinre, E. (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga : uuringu lõppraport. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T; Kõiv, T-A; Liias, R; Õiger, K; Kallavus, U; Mikli, L; Ilomets, S; Kuusk, K; Maivel, M; Mikola, A; Klõšeiko, P; Agasild, T; Arumägi, E; Liho, E; Ojang, T; Tuisk, T; Raado, L-M; Jõesaar, T. (2010). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool;
- Kalamees, T; Kõiv, T-A; Liias, R; Õiger, K; Kallavus, U; Mikli, L; Ilomets, S; Kuusk, K; Maivel, M; Mikola, A; Klõšeiko, P; Agasild, T; Arumägi, E; Liho, E; Ojang, T; Tuisk, T; Raado, L-M; Jõesaar, T. (2010). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool;
- Komfovent. [www.komfovent.com](http://www.komfovent.com)
- Kõiv, T-A., Hanburg, A., Mikola, A., Kiil, M., Tukia, A., Rohula, T., Silm., Palmiste. (2014). Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele. Tallinna Tehnikaülikool;
- Lauri, M. (2014) Kortere lamute renoveerimisturu ülevaade ja perioodi 2010-2014 korterelamute rekonstrueerimistoetuse mõju analüüs. Tallinn.
- Mattson, L-E. (2014). We simplify construction. Lindab Group. 35th AIVC Conference, 4th TightVent Conference, 2nd venticool Conference, Poznań, 24-25.09.2014
- MTM 2015. Majandus- ja taristuministri määrus nr. 23 „Kortere lamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“, 27.03.2015.
- MKM 201x. Hoonete sisekliima ja õhustuse miinimumnõuded. Koostatav määrus.
- MKM 2012. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 08.10.2012 määrus 63. „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“.
- Paap, L., Hamburg, A., Hamburg, P., Kallavus, U., Peetrimägi, L. (2010). Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikaline olukord. Tallinna Tehnikakõrgkool;
- prEN 16383. Thermal insulation products for buildings applications - Determination of the hygrothermal behaviour of external thermal insulation composite systems with renders (ETICS). Technical Committee CEN/TC 88.
- RT 39-10422 Rakennuksen peltityöt, yleisiä ohjeita.
- RT 41-10110 Ikkunan vesipellit.
- RT 80-10632-et Ehitise kaitseplekid.
- Seppänen, O. (2004) Ilmastoinnin suunnittelu.
- SFS Intec. (2005). Fassaadide renoveerimisel kasutatavad kinnitustarvikud. SFS intec Oy.
- SFS Intec. (2013). Mehaaniline kinnitustehnika aknaraamide montaažiks. SFS intec Oy.
- Systemair AB. [www.systemair.com/ee/Eesti/](http://www.systemair.com/ee/Eesti/)
- Tilmans, A., Ortshoven, D.V. Software and atlases for evaluating thermal bridges. Belgian Building Research Institute (BBRI), Belgium. ASIEPI, P198.
- VV 2012. Vabariigi Valitsuse 30.08.2012 määrus nr. 68 „Energiatõhususe miinimumnõuded“.
- VV 2004. Vabariigi Valitsuse 27.10.2004 määrus nr. 315 „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“.

# Lisad

## Lisa 1 Välispiirete lisasoojustamise sõlmejooniste loetelu

Joonise nimi	*.dwg faili nimi (AutoCAD 2010)	*.pdf faili nimi (AutoCAD 2010)
Välissein / sokkel. Suurpaneel lamu kolmekihilise seinapaneeel. Sõlm nr 1. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 1.dwg – Välissein-sokkel_SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 1.pdf – Välissein-sokkel_SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / sokkel. Tellisvoodriga mitmekihilise välissein. Sõlm nr 2. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 2.dwg – Välissein-sokkel_Tellissein - krohvitud soojustus	Sõlm nr 2.pdf – Välissein-sokkel_Tellissein - krohvitud soojustus
Välissein / sokkel. Suurpaneel lamu kolmekihilise seinapaneeel. Sõlm nr 3. Kergsõrestikul lisasoojustus	Sõlm nr 3.dwg – Välissein-sokkel_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 3.pdf – Välissein-sokkel_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein / sokkel. Tellisvoodriga mitmekihilise välissein. Sõlm nr 4. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 4.dwg – Välissein-sokkel_Tellissein - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 4.pdf – Välissein-sokkel_Tellissein - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihilise seinapaneeel. Sõlm nr 5. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 5.dwg – Aken horisontaallõige_SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 5.pdf – Aken horisontaallõige_SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihilise seinapaneeel. Sõlm nr 5.1. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 5_1.dwg – Aken horisontaallõige_SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 5_1.pdf – Aken horisontaallõige_SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Tellisvoodriga mitmekihilise välissein. Sõlm nr 6. Krohvitud soojustus	Sõlm nr 6.dwg – Aken horisontaallõige_Tellissein - krohvitud soojustus	Sõlm nr 6.pdf – Aken horisontaallõige_Tellissein - krohvitud soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihilise seinapaneeel. Sõlm nr 7. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 7.dwg – Aken horisontaallõige_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 7.pdf – Aken horisontaallõige_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus



Joonise nimi	*.dwg faili nimi (AutoCAD 2010)	*.pdf faili nimi (AutoCAD 2010)
Välissein / aken horisontaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 7.1. Kergsõrestikul lisasojustus.	Sõlm nr 7_1.dwg – Aken horisontaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 7_1.pdf – Aken horisontaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 8. Kergsõrestikul lisasojustus.	Sõlm nr 8.dwg – Aken horisontaallõige _Tellissein - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 8.pdf – Aken horisontaallõige _Tellissein - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken horisontaallõige. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 8.1. Kergsõrestikul lisasojustus.	W Sõlm nr 8_1.dwg – Aken horisontaallõige _Tellissein - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 8_1.pdf – Aken horisontaallõige _Tellissein - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 9. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 9.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 9. pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 9.1. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 9_1.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 9_1. pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 9.2. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 9_2.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 9_2. pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 10. Krohvitud soojustus	Sõlm nr 10.dwg – Aken vertikaallõige _Tellissein - krohvitud soojustus	Sõlm nr 10.pdf – Aken vertikaallõige _Tellissein - krohvitud soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 11. Kergsõrestikul	Sõlm nr 11.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 11. pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus

Joonise nimi	*.dwg faili nimi (AutoCAD 2010)	*.pdf faili nimi (AutoCAD 2010)
liskasoojustus.		
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 11.1. Kergsõrestikul liskasoojustus.	Sõlm nr 11_1.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 11_1.pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 11.2. Kergsõrestikul liskasoojustus.	Sõlm nr 11_2.dwg – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 11_2.pdf – Aken vertikaallõige _SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein / aken vertikaallõige. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 12. Kergsõrestikul liskasoojustus.	Sõlm nr 12.dwg – Aken vertikaallõige _ Tellissein - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 12.pdf – Aken vertikaallõige _ Tellissein - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Suurpaneel lamu suletud katuslagi. Sõlm nr 13. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 13.dwg – Parapett_SW-hoone suletud katuslagi - krohvitud soojustus	Sõlm nr 13.pdf – Parapett_SW-hoone suletud katuslagi - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Suurpaneel lamu suletud katuslagi. Sõlm nr 14. Kergsõrestikul liskasoojustus.	Sõlm nr 14.dwg – Parapett_SW-hoone suletud katuslagi - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 14.pdf – Parapett_SW-hoone suletud katuslagi - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Suurpaneel lamu kahekihiline katuslagi. Sõlm nr 15. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 15.dwg – Parapett_SW-hoone kahekihiline katuslagi - krohvitud soojustus	Sõlm nr 15.pdf – Parapett_SW-hoone kahekihiline katuslagi - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Suurpaneel lamu kahekihiline katuslagi. Sõlm nr 16. Kergsõrestikul liskasoojustus.	Sõlm nr 16.dwg – Parapett_SW-hoone kahekihiline katuslagi - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 16.pdf – Parapett_SW-hoone kahekihiline katuslagi - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein.	Sõlm nr 17.dwg – Parapett_Tellishoone - krohvitud soojustus	Sõlm nr 17.pdf – Parapett_Tellishoone - krohvitud soojustus

Joonise nimi	*.dwg faili nimi (AutoCAD 2010)	*.pdf faili nimi (AutoCAD 2010)
Sõlm nr 17. Krohvitud soojustus.		
Välissein / katuslagi parapetisõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 18. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 18.dwg – Parapett_Tellishoone - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 18.pdf – Parapett_Tellishoone - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Suurpaneel lamu suletud katuslagi. Sõlm nr 19. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 19.dwg – Räästas_SW-hoone suletud katuslagi - krohvitud soojustus	Sõlm nr 19.pdf – Räästas_SW-hoone suletud katuslagi - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Suurpaneel lamu suletud katuslagi. Sõlm nr 20. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 20.dwg – Räästas_SW-hoone suletud katuslagi - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 20.pdf – Räästas_SW-hoone suletud katuslagi - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Suurpaneel lamu kahekihiline katuslagi. Sõlm nr 21. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 21.dwg – Räästas_SW-hoone kahekihiline katuslagi - krohvitud soojustus	Sõlm nr 21.pdf – Räästas_SW-hoone kahekihiline katuslagi - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Suurpaneel lamu kahekihiline katuslagi. Sõlm nr 22. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 22.dwg – Räästas_SW-hoone kahekihiline katuslagi - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 22.pdf – Räästas_SW-hoone kahekihiline katuslagi - kergsõrestikul soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 23. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 23.dwg – Räästas_Tellishoone - krohvitud soojustus	Sõlm nr 23.pdf – Räästas_Tellishoone - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 23_1. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 23_1.dwg – Räästas_Tellishoone - krohvitud soojustus	Sõlm nr 23_1.pdf – Räästas_Tellishoone - krohvitud soojustus
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 24.	Sõlm nr 24.dwg – Räästas_Tellishoone – kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 24.pdf – Räästas_Tellishoone – kergsõrestikul soojustus

Joonise nimi	*.dwg faili nimi (AutoCAD 2010)	*.pdf faili nimi (AutoCAD 2010)
Kergsõrestikul lisasoojustus.		
Välissein / katuslagi räästasõlmes. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein. Sõlm nr 24_1. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 24_1.dwg – Räästas_Tellishoone – kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 24:1.pdf – Räästas_Tellishoone – kergsõrestikul soojustus
Välissein / rõdu. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 25. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 25.dwg – Välissein-rõdu_SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 25.pdf – Välissein-rõdu_SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein / rõdu. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 27. Kergsõrestikul lisasoojustus.	Sõlm nr 27.dwg – Välissein-rõdu_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 27.pdf – Välissein-rõdu_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein-lodža. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 29. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 29.pdf – Välissein-lodža_SW-paneel - krohvitud soojustus	Sõlm nr 29. dwg – Välissein-lodža_SW-paneel - krohvitud soojustus
Välissein-lodža. Tellishoone - krohvitud soojustus. Sõlm nr 30. Krohvitud soojustus.	Sõlm nr 30.pdf – Välissein-lodža_Tellishoone - krohvitud soojustus	Sõlm nr 30. dwg – Välissein-lodža_Tellishoone - krohvitud soojustus
Välissein-lodža. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 31. Kergsõrestikul soojustus.	Sõlm nr 31.pdf – Välissein-lodža_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 31. dwg – Välissein-lodža_SW-paneel - kergsõrestikul soojustus
Välissein-lodža. Suurpaneel lamu kolmekihiline seinapaneel. Sõlm nr 32. Kergsõrestikul soojustus.	Sõlm nr 32.pdf – Välissein-lodža_Tellishoone - kergsõrestikul soojustus	Sõlm nr 32. dwg – Välissein-lodža_Tellishoone - kergsõrestikul soojustus
Ventilatsioonitoru läbiviik parapetist	Ventilatsioonitoru läbi parapeti.pdf	Ventilatsioonitoru läbi parapeti.dwg

## Lisa 2 Välispiirete liitekohtade joonsoojusläbivused ja temperatuuriindeksite väärtused

Sõlme nr. ja nimi	Tarindite liitekohta joonsoojusläbivus $\Psi_i$ (sisemöödud), W/(m·K)	Tarindite liitekohta sisepinna minimaalne temperatuuriindeks $f_{Rsi}$
Sõlm 1. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, krohvitudo soojustus, Soklisein/akna alumine osa	0,1	0,73
Sõlm 2. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, krohvitudo soojustus, Välissein/sokkel	0,05	0,95
Sõlm 3. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, kergsõrestikul lisasoojustus, Välissein/sokkel	0,06	0,94
Sõlm 4. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, kergsõrestikul lisasoojustus, Välissein/sokkel	0,06	0,95
Sõlm 9. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, krohvitudo soojustus, Välissein/aken vertikaallõige	A) alumine osa 0,07 B) ülemine osa 0,02	A) alumine osa 0,66 B) ülemine osa 0,72
Sõlm 9.1. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, krohvitudo soojustus, Välissein/aken vertikaallõige	A) alumine osa 0,09 B) ülemine osa 0,02	A) alumine osa 0,72 B) ülemine osa 0,81
Sõlm 9.2. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, krohvitudo soojustus, soklisõlm	A) Keldriakna ülemine osa/soklisein 0,02 B) Välissein/sokkel 0,08	A) Keldriakna ülemine osa/soklisein 0,83 B) Välissein/sokkel 0,94
Sõlm 10. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, krohvitudo soojustus, Välissein/aken vertikaallõige	A) alumine osa 0,09 B) ülemine osa 0,02	A) alumine osa 0,71 B) ülemine osa 0,79
Sõlm 11. Suurpaneelilamukolmekihiline seinapaneel, kergsõrestikul lisasoojustus,	A) alumine osa 0,11 B) ülemine osa 0,03	A) alumine osa 0,70 B) ülemine osa 0,77



Sõlme nr. ja nimi	Tarindite liitekohta joonsoojusläbivus $\Psi_i$ (sisemõõdud), W/(m·K)	Tarindite liitekohta sisepinna minimaalne temperatuurindeks $f_{Rsi}$
Välissein/aken vertikaallõige		
Sõlm 11.1. Suurpaneelilam kolmekihiline sein- paneel, kergsõrestikul lisasoojustus, Välis- sein/aken vertikaallõige	A) alumine osa 0,11 B) ülemine osa 0,03	A) alumine osa 0,70 B) ülemine osa 0,79
Sõlm 11.2. Suurpaneelilam kolmekihiline sein- paneel, kergsõrestikul lisasoojustus, soklisõlm	A) Keldriakna ülemine osa/soklisein 0,02 B) Välissein/sokkel 0,06	A) Keldriakna ülemine osa/soklisein 0,83 B) Välissein/sokkel 0,95
Sõlm 12. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, kergsõrestikul lisa- soojustus, Välissein/aken vertikaallõige	A) alumine osa 0,11 B) ülemine osa 0,03	A) alumine osa 0,69 B) ülemine osa 0,73
Sõlm 13. suurpaneelilam suletud katuslagi, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi parapetisõlmes.	0,18	0,89
Sõlm 14. suurpaneelilam suletud katuslagi, kergsõrestikul lisa- soojustus, välis- sein/katuslagi parapetisõlmes.	0,18	0,89
Sõlm 15. suurpaneelilam kahekihiline katuslagi, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi parapetisõlmes.	0,19	0,91
Sõlm 16. suurpaneelilam kahekihiline katuslagi, kergsõrestikul lisasoojustus, välissein/katuslagi parapetisõlmes.	0,20	0,91
Sõlm 17. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi parapetisõlmes.	0,14	0,93
Sõlm 18. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, kergsõrestikul lisasoojustus, välissein/katuslagi parapetisõlmes.	0,17	0,93

Sõlme nr. ja nimi	Tarindite liitekohta joonsoojusläbivus $\Psi_i$ (sisemõõdud), W/(m·K)	Tarindite liitekohta sisepinna minimaalne temperatuurindeks $f_{Rsi}$
Sõlm 19. suurpaneelilamu suletud katuslagi, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,13	0,92
Sõlm 20. suurpaneelilamu suletud katuslagi, kergsõrestikul lisasoojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,13	0,92
Sõlm 21. suurpaneelilamu kahekihiline katuslagi, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,14	0,92
Sõlm 22. suurpaneelilamu kahekihiline katuslagi, kergsõrestikul lisasoojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,15	0,92
Sõlm 23. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, krohvitud soojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,11	0,93
Sõlm 24. Tellisvoodriga mitmekihiline välissein, kergsõrestikul lisasoojustus, välissein/katuslagi räästasõlmes.	0,11	0,93
Sõlm 25. Suurpaneelilamu kolmekihiline seinapaneel, krohvitud soojustus, Välissein/rõdu	A) plaan 0,56 B) lõige 0,46	A) plaan 0,85 B) lõige 0,83
Sõlm 27. Suurpaneelilamu kolmekihiline seina- paneel, kergsõrestikul lisasoojustus, Välissein/rõdu	A) plaan 0,52 B) lõige 0,43	A) plaan 0,86 B) lõige 0,84

### Lisa 3 Ventilatsiooni renoveerimise jooniste ja seletuskirjade loetelu

Joonise nimi	Failide nimed *.dwg (AutoCAD 2010) ja *.pdf
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga, mis asub korteris; tüüpkorruse plaan.	VE11_kor_SPVT_korteris_tyypkorrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga, mis asub kinni ehitatud lodžal; tüüpkorruse plaan.	VE2A1_kor_SPVT_lodzal_tyypkorrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga, mis asub trepikojas; tüüpkorruse plaan.	VE2B1_kor_SPVT_trepikojas_tyypkorrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus ventilatsioonitorustik asub fassaadi lisasoojustuse kihis; tüüpkorruse (4. korruse) plaan	VE31_tse_SPVT_soojustuses_tyypkorrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus ventilatsioonitorustik asub fassaadi lisasoojustuse kihis; 5. korruse plaan	VE23_tse_SPVT_soojustuses_5korrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus ventilatsioonitorustik asub fassaadi lisasoojustuse kihis; katuse plaan	VE33_tse_SPVT_soojustuses_katus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus ventilatsioonitorustik asub hoones; tüüpkorruse (1. korruse) plaan.	VE41_tse_SPVT_hoones_tyypkorrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus ventilatsioonitorustik asub hoones; 5. korruse plaan	VE42_tse_SPVT_hoones_5korrus.*
5-korruselise hoone sissepuhke väljatõmbe ventilatsioon tsentraalse soojustagastusega ventilatsiooniagregaadiga, kus	VE43_tse_SPVT_hoones_katus.*

<b>Joonise nimi</b>	<b>Failide nimed *.dwg (AutoCAD 2010) ja *.pdf</b>
ventilatsioonitorustik asub hoones; katuse plaan	
5-korruselise hoone tsentraalne väljatõmbe ventilatsioon soojuspumba soojustagastusega, kus igal korteril on eraldi ventilatsioonišaht; tüüpkorruse plaan	VE51_tse_VT+SP_eraldi_tyyppkorrus.*
5-korruselise hoonetsentraalne väljatõmbe ventilatsioon soojuspumba soojustagastusega, kus igal korteril on eraldi ventilatsioonišaht; katuse plaan	VE52_tse_VT+SP_eraldi_katus.*
5-korruselise hoone tsentraalne väljatõmbe ventilatsioon soojuspumba soojustagastusega, kus korteritel on ühine ventilatsioonišaht; tüüpkorruse plaan	VE61_tse_VT+SP_yhine_tyyppkorrus.*
5-korruselise hoone tsentraalne väljatõmbe ventilatsioon soojuspumba soojustagastusega, kus igal korteritel on ühine ventilatsioonišaht; katuse plaan	VE62_tse_VT+SP_yhine_katus.*
5-korruselise hoone tsentraalse väljatõmbe ventilatsiooniagregaadi põhimõtteline skeem	VE56_tse_VT_skeem.*
Soojuspumbapaigaldise põhimõtteline skeem.	SV1_soojuspumba_yhendamise_skeem.*

<b>Teksti pealkiri</b>	<b>Failide nimed *.doc (Office 2010) ja *.pdf</b>
Korteri põhise ventilatsiooniseadmega soojustagastusega sissepuhke väljatõmbe ventilatsiooni seletuskiri.	VE12_kor_SPVT_sel.*
Tsentraalse ventilatsiooniseadmega soojustagastusega sissepuhke väljatõmbe ventilatsiooni seletuskiri.	VE34_tse_SPVT_sel.*
Soojuspumbaga soojustagastusega tsentraalse väljatõmbe ventilatsiooni seletuskiri	VE56_tse_VT+SP_sel.*
Tsentraalse sissepuhke väljatõmbe ventilatsiooniagregaadi väljatrüki näide.	VE34_lisa_SPVT_agregaat.*
Tsentraalse soojuspumbaga ühendatava väljatõmbe ventilatsiooniagregaadi väljatrüki näide.	VE56_lisa_VT+SP_agregaat.*