



Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühendus



Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

Juhendi on koostanud Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühendus koostöös Tallinna Tehnikaülikooli keskkonnatehnika instituudiga SA KredEx tellimusel.

Juhendi autorid:

Tõnu Jõesaar, EKVÜ (peatükid 1.-3., 14.).

Anti Hamburg, TTÜ (peatükid 4.-13.).

Töö teaduslik juhendaja professor Teet-Andrus Kõiv, TTÜ.

Juhendi autorid on tänavad EKVÜ kutsekomisjoni liikmeid viljaka diskussiooni eest juhendi koostamise käigus ja eriti professor Targo Kalameest ja tehnikamagister Teet Tarka heade nõuannete ja konstruktiivse kriitika eest.

Juhendi keelelise poole on toimetanud Mari-Ann Tamme.

Sisukord

1.	Sissejuhatus	4
1.1	Kortermajade auditeerimise eripära.....	4
2.	Auditeerimisprotsessi algus.....	6
2.1	Tarbimisandmete kogumine.....	6
2.2	Tarbimisandmete usaldusväärsuse hindamine	7
2.3	Mida teha, kui andmed pole usaldusväärsed.....	7
2.4	Külma ja sooja tarbevee kuluandmete analüüs	8
2.5	Soojustarbimise analüüs kraadpäevade meetodil.....	8
2.6	Elektri- ja gaasitarbimine	9
2.6.1	Elektritarbimine.....	9
2.6.2	Gaasitarbimine	9
3.	Hoone ülevaatus ja sisekliima mõõtmised	10
3.1	Objektitööde ettevalmistamine	10
3.2	Sisekliima ja õhuvahetuse pisteline mõõtmine ülevaatusel ajal	11
3.3	Sisekliima mõõtmine logerite abil	11
3.4	Korterite ankeetküsitlused	11
3.5	Tehnosüsteemide ülevaatus	12
3.5.1	Küttesüsteem ja soojusvarustus.....	12
3.5.2	Ventilatsioonisüsteem	12
3.6	Termograafia.....	13
4	Soojuskadude arvutamine hoone välispiirete kaudu	15
4.1	Piirdetarindite soojuskadude hindamine	15
4.2	Õhuvahetuse soojuskadude hindamine	16
5	Kütte- ja soojaveesüsteemi soojuskaod kütmata keldris	16
6	Hoone energiabilanss	18
6.1	Hoone soojusbilanss.....	18
6.2	Hoone elektritarbimine	20
6.3	Hoone gaasitarbimine olmelisteks vajadusteks.....	21
6.4	Soojusbilansi koostamise tähelepanekud olemasoleva olukorra kohta	21
7	Vabasoojused ja tasakaalutemperatuurid	22
8	Välispiirete soojuskadude vähendamise võimalused	23
9	Küttesüsteemi seisukord ja rekonstrueerimisvajadus.....	24
9.1	Rekonstrueerimisettepanekud	24
10	Ventilatsioonisüsteemi olukord ja rekonstrueerimisvajadus	24
10.1	Rekonstrueerimisettepanekud	24
11	Rekonstrueerimispakettide koostamine	25
11.1	Pakettide koostamise lähtealused.....	25
11.2	Rekonstrueerimispakettide energiasääst	26
11.3	Rekonstrueerimispakettide prognoositav energiatõhususarv.....	26
12	Rekonstrueerimise mõju elanike maksekoormusele.....	27
13	Taastuvenergia kasutamine.....	27
14	Auditi aruande koostamine ja tulemuste tutvustamine.....	27
15	Kokkuvõte	28
16	Kasutatud kirjandus	28
	LISA 1 Kortermajade kütte, sooja tarbevee ja elektrienergia erikulu.....	30
	LISA 2 Temperatuuri parandusteguri sõltuvus sokli ja torustiku soojustusest.....	31

1. Sissejuhatus

Kortermajade energiaauditi koostamise juhend on metoodiline energiaaudiitori teejuht ning tellija ning kontrollija selgitav abimaterjal.

Korterelamu energiaaudit on mõõtmistele ja kogutud andmetele tuginev analüüs, mis selgitab energiakasutust hoones või selle eraldi kasutatavas osas, annab ülevaate hoone energiakadudest ning võimalikest meetmetest energia ja kütuse kulutõhusaks kokkuhoiuks ning sisekliima parandamiseks.

Kortermaja energiaauditi eesmärk on analüüsida hoone energiakasutust ja tehnoseisundit ning anda hoone omanikule ja/või korteriühistu liikmetele selle analüüsi tulemusena selge arusaam hoone energiatõhususe ja sisekliima parandamise vajadusest ja võimalustest. Energiaaudiitor on kortermajade rekonstrueerimise protsessis esmane professionaalne tugisik ja tema tegevusest ja soovitustest sõltub, missuguseid otsuseid võtavad vastu korteriühistu liikmed või hoone omanik. Energiaaudiitori missioon on aidata kaasa Eesti elamufondi energiatõhusamaks muutmisele ja elamistingimuste parandamisele.

Juhendi eesmärk on anda audiitorile juhiseid hoone ülevaatus, energiatarbimise ja sisekliima andmete kogumiseks ja analüüsiks. Auditeerimise käigus kujuneb audiitoril arusaam elamu energiatarbimise iseloomust ja selle seosest eluruumide sisekliimaga. Elamu on keskkond, kus inimesed viibivad üldjuhul rohkem kui poole eluajast ja sisekliima mõju elanike tervisele ja heaolule on tihti alahinnatud. Audiitori ülesanne on anda hinnang olemasolevale olukorrale ja näidata võimalused tervisliku sisekliima loomiseks, hoone tehnilise seisundi parandamiseks ja energiatarbimise vähendamiseks. Energiasääst ei ole elamu rekonstrueerimise ainuke eesmärk. Energiasääst on vahend, mis loob soodsad tingimused rekonstrueerimiseks. Soovitused hoone rekonstrueerimiseks vormistatakse erineval tasemel rekonstrueerimispakettidena. Pakettide koostamisel lähtutakse kehtivast õigusruumist, riiklikest programmidest hoonete energiatõhususe parandamiseks jms. Energiaauditi tulemusi kasutatakse renoveerimisprojekti väljatöötamisel, kus leitakse eesmärgikohane optimaalseim lahendus vastavalt korteriühistu või hoone omaniku poolt esitatud lähteülesandele. Juhul kui korteriühistu soov on taotleda ja kasutada mõne institutsiooni toetusi, peab auditi koostamisel lisaks lähtuma konkreetse institutsiooni kehtestatud tingimustest. Näiteks SA KredEx-i lähiaastatel pakutava rekonstrueerimistoetuse võimaluste taotlemise korral koostatakse parendusettepanekud kooskõlas määrustega „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“ (Majandus- ja taristuministri määrus nr 23, vastu võetud 20.03.2015, edaspidi MTMm 23) ning „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ (Majandus- ja taristuministri määrus nr 55, vastu võetud 03.06.2015, edaspidi MTMm 55).

Energiaauditi koostamiseks minimaalselt vajalikud lähteandmed, mõõdistused ja uuringud saab leida majandus- ja taristuministri määrusest nr 28 (vastu võetud 08.04.2015) „Elamu energiaauditile esitatavad nõuded“ (edaspidi MTMm 28). Selles juhendis kirjeldatakse kõikide nende uuringute metoodikat ja viidatakse ka täiendavate uuringute võimalusele, mis ei muuda neid kõiki seeläbi üheaegselt kohustuslikeks. Mõõtmiste ja uuringute maht konkreetses auditis lepatakse kokku auditi tellija ja töö teostaja vahel hoone spetsiifika järgi enne töödega alustamist. Energiaauditi vormistamise nõuded on samuti MTMm 28.

1.1 Kortermajade auditeerimise eripära

Oluline on märkida, et olemasoleva hoone energiabilansi arvutused võivad põhimõtteliselt erineda ehitusinseneride hoone energiatõhusust tõendavatest arvutustest. Viimased tehakse alati täpsete algandmetega, milleks on hoone standardkasutus (soojuslik mugavus ja õhu kvaliteedi vastavus normidele), ehitusprojekt ja ehitusmaterjalide kindlaksmääratud omadused. Olemasoleva hoone kohta ei saa neid algandmeid sageli kasutada, isegi kui on olemas hoone algne ehitusprojekt. Ehitusmaterjalide omadused ja kasutus ei vasta sageli sellele, mis on projekti kirjutatud. Paljude vanemate hoonete kohta puudub tavaliselt igasugune ehituslik informatsioon. Siis jääb üle ainult tuvastada see visuaalse vaatluse käigus ja täpsustada ehitusuuringu kaudu. Vajadusel tehakse piirdetarindite lokaalsed avamised ja

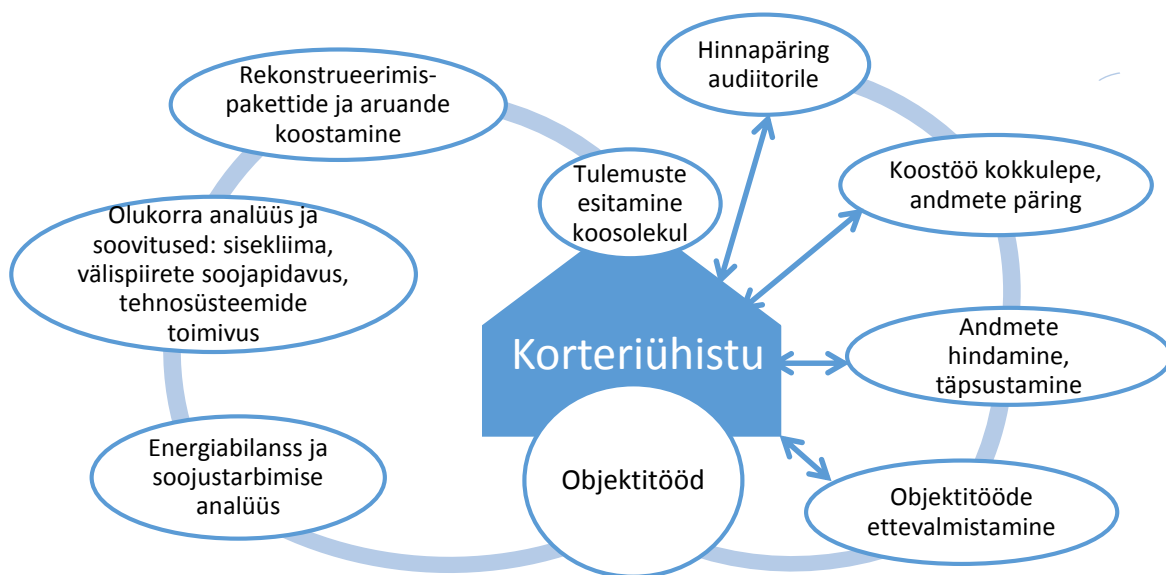
Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

selgitatakse välja tegelik tarindus, materjalikihid, nende paksus ja omadused. Veelgi keerulisem on hoone kui terviku sisekliimat iseloomustavate parameetrite täpne määramine. Tegelikult õhuvahetuse mõõtmine korterelamu mahus ja kütteperioodi vältel tervikuna viiks auditi mahu ja maksumuse ebaotstarbekalt suureks. Audit lähtub sageli hinnangutest. Kaudse hinnangu andmisel saab audiitor tugineda lühiajalistele mõõtmistele valitud eluruumides, elanike küsitlusele ja edaspidi viidatud uuringutele. Ka niisugust näiliselt lihtsat parameetrit nagu elamu keskmine temperatuur kütteperioodi vältel ei saa olemuslikult täpselt määrata, sest köetavate ruumide sisetemperatuuride varieeruvus elamu osade kohta ja ajaliselt on suur. Kortermajade eluruumide sisetemperatuuri pikaajalised mõõtmised on näidanud, et mõõtmistulemuste keskvärtuse standardhälve on suurusjärgus ± 2 °C [1]. Energiaarvutuse tulemused saavad olla nii täpsed, kui on algandmed. Seetõttu on korterelamu energiaauditi mudelit lihtsustatud, mis algandmete täpsuse piires lõpptulemust ei mõjuta. Kuna energiaauditi tulemused olenevad paljuski energiaaudiitori oskustest ja kogemustest, tuleb energiaauditi objektis suhtuda äärmise lugupidamise ja põhjalikkusega.

Energiaaudiitori kohustuslikeks abimaterjalideks on TTÜ poolt läbiviidud kortermajade uuringud, mille aruanded on saadaval SA KredEx kodulehel aadressil <http://www.kredex.ee/energiatohususest/energiatohusus/uuringud/>. Olulisemad neist on toodud järgnevas loetelus linkidena.

1. [TTÜ paneelilamute seisukorra uuring \(2009\)](#) [2]
2. [TTÜ telliselamute seisukorra uuring \(2010\)](#) [3]
3. [Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring \(2010\)](#) [4]
4. [TTÜ puitelamute seisukorra uuring \(2011\)](#) [5]
5. [TTÜ uute korterelamute uuring \(2012\)](#) [6]
6. [TTÜ uuring "Sõpruse pst 244, Tallinn, korterelamu renoveerimisjärgne uuring. Sisekliima, energiatarbe ja külmasildade analüüs." \(2014\)](#) [7]
7. [TTÜ uuring "Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele." \(2014\)](#) [8]
8. [Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmjoonised ja tüüpkerite ventilatsioonilahendused](#) (2015) [9]

Kortermaja energiaaudit on kompleksne tegevus, mis koosneb omavahel seotud etappidest ja auditi tulemus tekib tellija ja audiitori koostöös. Audiitori tegevuste järgnevus ja koostöö tellijaga, kelleks on valdavalt korteriühistus, on kujutatud diagrammil.



Kortermaja energiaauditi koostamiseks on pädevaks isikuks spetsialist, kellel on energiatõhususe valdkonnas vähemalt Energiaaudiitor 6 osakutse elamute energiaauditite koostamine või kõrgem kutsetase. (Varem kehtinud kutseseaduse alusel on kortermaja energiaauditi koostamise pädevus ka Energiaaudiitor IV ja V). Energiaaudiitori kutse olemasolu saab kontrollida SA Kutsekoda kodulehel <http://kutsekoda.ee/et/kutseregister/> ja Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühenduse kodulehel www.ekvy.ee.

2. Auditeerimisprotsessi algus

Kortermaja energiaauditi algatab tavaliselt korteriühistu juhatus või hoone omaniku esindaja, kes vastavalt juhatusel/üldkoosoleku otsusele peab leidma selleks ettevõtja, kellel on õiguslik suhe pädeva isikuga. Audiitor saab esmase info hoone kohta ehtisregistri andmebaasist (www.ehr.ee). Enne energiaauditi hinnapakkumise tegemist on audiitoril soovitatav suhelda tellijaga ja küsida täiendavalt majas esinevate võimalike probleemide, tehnosüsteemi ehituse ja kasutusviiside kohta ning hoone projektdokumentatsiooni olemasolu. Üldjuhul on tüüphoonetena ehitatud ja kaugküttevõrguga ühendatud suurpaneel- ning telliselamute auditeerimine lihtsam kui väiksemate plokki- või puithoonete auditeerimine, kus on lokaal- või kohtküte. Nende erisuste väljaselgitamine aitab paremini tööde mahtu planeerida juba pakkumise staadiumis. Viimasel juhul muudavad auditeerimise keerulisemaks soojusallikate paljususe ning tarbimisandmete ebatäpsus. Siia võib lisanduda projektdokumentatsiooni puudumine olemasoleva olukorra kohta ning sellest tulenevad lisatööd välispiirete mahtude ning soojuslähivuste hindamisel. Samuti raskendab auditeerimist asjaolu, kui hoone on alaköetud või alaventileeritud või osade kaupa kasutusest väljas.

Auditeerida ei ole võimalik hoonet, mida pidevalt ei kasutata.

Auditi hinnapakkumiste aluseks peaks olema lähteülesanne, milles on esitatud auditiga haaratud tegevused, uuringud jms. Kui puudub korrektne lähteülesanne, on audiitoril soovitatav potentsiaalsele tellijale saata koos hinnapakkumisega planeeritavate tööde kirjeldused, et tellijal oleks võimalik hinnata pakutava energiaauditi sisulist taset ja auditi kvaliteeti.

2.1 Tarbimisandmete kogumine

Auditeerimiskokkuleppe sõlmimise järel saab audiitor tellijale ankeedid tarbimisandmete (elekter, soojus, vesi (eraldi külm vesi ja soe vesi)) kogumiseks, tehnosüsteemide (küte, ventilatsioon, tarbevee soojendamise, elekter jne) toimivuse ning hoone sisekliima kohta täiendava informatsiooni hankimiseks. Oluline on saada teavet varem tehtud parenduste ja rekonstrueerimiste kohta ning elanike hinnanguid tehnosüsteemide tööga rahulolu kohta. Hoone tehniline ülevaatus on soovitatav korraldada pärast ehitusprojekti, tarbimisandmete ja ankeetide laekumist, kui audiitoril on parem arusaam võimalikest probleemidest, millele tähelepanu pöörata.

Hoone toimimisest parema ülevaate saamiseks on soovitatav koguda andmed vähemalt viimase kolme kalendriaasta kohta kuude kaupa koos rahaliste kulutustega.

Auditi jaoks olulised tarbimisandmed on järgmised:

- 1) soojuse tarbimine kaugküttevõrgust,
- 2) kütuse tarbimine lokaalkatlamajas või kohtkütteseadmete tarbimise summa,
- 3) hoone elektritarbimine korterivälises tsoonis (üldvalgustus, soojuskeskuse ja ventilatsiooniseadmed ning teised tehnosüsteemid (liftid jm)),
- 4) elektritarbimine korterites,
- 5) veetarbimine olmelisteks vajadusteks,
- 6) sooja tarbevee tarbimine,
- 7) maagaasi või vedelgaasi tarbimine olmelisteks vajadusteks,
- 8) elektri või soojuse tootmine taastuvenergiaallikatest (päikesekollektorid, päikesepaneelid jne, nende olemasolul).

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

Kogutud tarbimisandmed esitatakse auditi lisas algandmetena. Hoone energiatarbimise ülevaates esitatakse tarbimisandmed (soojus, kütused, elekter, vesi, tarbegaas) aastate kaupa koos eritarbimist iseloomustavate suuruste ja võrdluses analoogiliste hoonetega. Auditi selles osas kirjeldatakse ka energia muundamisega seotud protsesse (katelde kasutegurid, energia muundamise tõhusus (soojuspumbad), taastuvenergia kasutamine jm) ja arvutatakse hoonesse antavad netoenergia kogused.

2.2 Tarbimisandmete usaldusväärsuse hindamine

Energiaaudiitori ülesanne on hinnata korteriühistu esitatud tarbimisandmete usaldusväärsust. Seda on soovitatav teha objektitöö planeerimise käigus, et hoone ülevaatusel ajal ja kohtumisel korteriühistu esindajatega küsida selgitusi probleemidele viitavate tarbimisandmete ebaregulaarsuste kohta. Tarbimisandmete hindamise üks meetod on võrdlus teiste kortermajade eritarbimiste keskmiste väärtustega, mis on arvutatud kütava pindala suhtes.

1. Rekonstrueerimata kortermajade soojuse eritarbimine kütteks on tavaliselt 150–200 kWh/(m²·a). Uuringutes osalenud suurpaneelilamute ja telliskorterelamute energiatarbimise jaotused on toodud Lisas 1. Väiksem soojuse eritarbimine viitab alaventileeritusele ja/või hoone osalisele rekonstrueerimisele, sh akende vahetamisele.
2. Olmeelektri (korterite elektritarbimine) keskmine eritarbimine on 25–30 kWh/(m²·a), kui toiduvalmistamiseks ei kasutata elektripliite. Elektripliitide olemasolul lisandub sellele ca 5–10 kWh/(m²·a). Suurem elektri eritarbimine viitab olmeelektri kasutamisele kütteks.
3. Tarbegaasi eritarbimine gaasipliitidega majades on keskmiselt 0,5 m³/(m²·a) ja koos sooja tarbevee soojendamiseks 3 m³/(m²·a).
4. Tarbevee keskmine maht on suurusjärgus 1,0 m³/(m²·a), sellest ca 40 % on soe tarbevesi.
5. Sooja tarbevee valmistamiseks kulub 25–30 kWh/(m²·a), ilma jahtumiskadusid arvestamata. Sooja tarbevee keskmine eritarbimine elaniku kohta on 13 m³/(in·a).

Teine lähteandmete usaldusväärsuse kontrolli meetod on tarbimise aegridade analüüs. Tarbimise märgatavad muutused väärivad alati audiitori tähelepanu ja korteriühistu esindaja selgitusi. Tarbimisandmed ei kajasta nõuetele vastavat hoone olukorda juhul, kui hoone on tervikuna või osade kaupa alaküttes või alaventileeritud. Juhud, kui kütmiseks kasutatakse korteriomandite osas erinevaid või mitmeid kütuseid (küttesüsteeme), tuleb energiabilansi koostamisel jagada hoone väiksemateks osadeks.

2.3 Mida teha, kui andmed pole usaldusväärsed

Kui energiakulu- ja muud lähteandmed ei ole usaldusväärsed, peab audiitor selle ka vastavalt fikseerima ja olukorda põhjendama, konsulteerides eelnevalt korteriühistu esindajaga. Ebaühtlasest kütmisest tingitud probleeme saab lahendada, kui kontrollida hoone ülevaatusel ajal sisekliimat iseloomustavaid parameetreid ja eriti logerite abil, mis salvestavad mõõtmistulemusi pikema aja vältel. Kõige tulemuslikum on seda teha kütteperioodil õhutemperatuuri ja õhukvaliteedi mõõtmistega vähemalt nädala jooksul ning selgitades aruandes, milliseid erinevaid kütteallikaid hoones ning korteriomandites kasutatakse.

Kui soojusallikaid ja/või küttesüsteeme on rohkem kui üks, tuleb hinnata iga kütteallikaga toodetud soojusenergiat eraldi, taandades iga energialiigi tarbimise energiaarvutuste baasaastale. Samas on vaja näidata energiakasutus võrdluses olukorraga, kui hoones on tagatud sisekliima standardi EVS-EN 15251:2007 sisekliimaklassi II kohaselt ning määruse „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ kohane kortermaja standardkasutus.

Põhjendatud juhul, kus energiakuluandmete alusel pole võimalik üldise hinnata hoone sisekliima tagamiseks kuluvat energiahulka, tuleb hoonetele koostada arvutuslik energiabilanss tema tüüpses kasutuses.

2.4 Külma ja sooja tarbevee kuluandmete analüüs

Kortermajade kogu veetarbimist mõõdetakse üldmõõdtjaga ja need andmed on tavaliselt usaldusväärsed, kui veemõõdtjad on reeglipäraselt taadeldud. Suured kõikumised veetarbimises viitavad sageli leketele või veeavarii toimumisele. Keskmise tarbimise hindamisel on vaja need anomaalsed veekulud kõrvale jätta.

Sooja tarbevee kuluandmed on vähem usaldusväärsed. Kaugküttega korterelamutes, kus on tsentraalne soojaveesüsteem, toimub soojuse mõõtmine küttele ja soojale tarbeveele üldjuhul ühiselt. Tavaliselt mõõdetakse sooja tarbevee kulu ainult korterites ja elamu tarbimise saamiseks summeeritakse korterite sooja tarbevee mõõdtjate näidud. Kui elamus on ka üldine sooja tarbevee mõõdtja, on tavaline, et korterite tarbimise summa ei võrdu elamu üldmõõdtja näiduga. Sooja tarbevee koguste ebatäpsus toob kaasa tarbevee soojendamiseks kulunud energia osakaalu määramise ebatäpsuse. Juhul kui hoones on ka sooja tarbevee tsirkulatsioon, kulub osa vee soojendamiseks kulunud energiast jahtumiskadudeks torustiku soojustuse kaudu. Jahtumiskadude suurus seostub otseselt soojustuse olukorraga. Suur osa jahtumiskadudeks kulunud energiast eraldub külmas keldris, aga jahtumiskadude osakaal on oluline ka püstikutes ja eluruumides, kui vannitubadesse on paigaldatud siugtorud. Et hinnata siugtorudele ja võrgukadudele kulunud soojusenergia hulka, on vaja võrrelda suvekuudel tarbitud soojusenergiat otseselt tarbitud sooja vee valmistamiseks kulunud energiaga. Täpsemate arvutuste tegemiseks on vaja ülevaatusel fikseerida sooja vee temperatuur. Vee soojendamise tõhusust näitab tarbevee soojendamiseks kulunud energia suhe kogu suvekuudel tarbitud soojusesse ja see määrab sooja tarbevee tegeliku hinna. Mida vähem tõhus on soojaveesüsteem, seda kallim on tarbitud soe vesi ja see viitab torustiku puudulikule soojustusele aga ka võimalusele, et elanikud on kasutanud soojaveesüsteemi omavoliliselt näiteks vannitoa põrandkütte tegemiseks. Võrreldes siugtoruga vannitoas suurendab betoonpõrandas olev soojaveetoru drastiliselt jahtumiskadusid ja tõstab sooja vee hinda kogu elamu jaoks. Soojaveesüsteemi ebatõhusust põhjustavad ka korterid, mis on tsentraalsest soojaveesüsteemist eraldunud ja kasutavad elektrilisi soojaveeboilereid. Soojavee tsirkulatsiooniga torustiku jahtumiskaod ei olene sooja vee tarbimisest, kuid süsteem toimib tõhusamalt suurema tarbimise puhul. Võrgukadude hindamisel tuleb arvestada, et talvel on võrgukaod seoses madalama keldritemperatuuriga mõnevõrra suuremad kui suvel. Samas on suvel veetarbimine tavaliselt väiksem ja kogu soojuskadu võib siiski lugeda aastaringselt tinglikult ühesuguseks.

Piirkondades, kus puudub aastaringselt toimiv kaugküttesüsteem, kasutatakse tavaliselt tarbevee soojendamiseks elektrilisi soojavee- või gaasiboilereid. Nendes elamutes soojavee tarbimist ei mõõdetata ja audiitori ülesandeks on vee, elektri ja/või gaasitarbimise alusel määrata sooja tarbevee osakaal.

Võrgukaod ning soojavee ringluskaod ei ole kütteperioodil ainult kaod, vaid on soojuseralduseks keldris ning korterites. Kütteperioodivälisel ajal muutuvad need aga utiliseerimatuteks kadudeks. Täpsem arvutusjuhis keldris eralduvate võrgukadude kohta on esitatud näites kütmata keldri soojuskadude arvutamise kohta (p.5).

2.5 Soojustarbimise analüüs kraadpäevade meetodil

Korterelamutes tarbitakse soojust tavaliselt ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamiseks. Mõõdetud kütteenergiakulu andmete analüüs toimub standardi EVS-EN ISO 13390 järgi, mille alusel tuleb väliskliimast olenev energiatarbimine taandada energia-arvutuste baasaastale, et erinevate aastate soojustarbimise andmeid saaks võrrelda. Selleks kasutatakse Eestis kraadpäevasid, mille väärtused on arvutatud lähtuvalt kuu keskmisest välistemperatuurist tasakaalutemperatuuride vahemiku jaoks $1\text{ °C} - 20\text{ °C}$ sammuga 1 °C . Kraadpäevade tabelid on Eesti kuue võtmeapiirkonna jaoks SA Kredex kodulehel <http://www.kredex.ee>. Kraadpäevade kasutamine soojustarbimise analüüsiks on detailselt lahti kirjutatud õppematerjalis T.-A. Kõiv, A. Rant. Hoonete küte, TTÜ kirjastus, 2013 [10]. Esmase lähendusena võib kasutada kogu aasta kraadpäevi, mis vastavad 17 °C tasakaalu-

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

temperatuurile. Olemasoleva elamu kütteenergia tarbimise analüüsiks tegelikult sobiv tasakaalutemperatuur selgitatakse energiaauditi käigus. See oleneb hoone soojakadudest, vabasoojuse hulgast ning vabasoojuse kasutamise tõhususest. Olemasoleva elamu tasakaalutemperatuuri saamiseks on vaja määrata hoone kütteperioodi tõenäoline keskmine sisetemperatuur, arvutada utiliseeritav vabasoojuse hulk ning soojuskaod kokku piirdetarindite ja õhuvahetuse kaudu. Kütte tarbimisgraafiku alusel (kuu soojustarbimine kütteks *versus* välistemperatuur) saab arvutustele võrdluseks määrata elamu tegelikule kasutamisele vastava tasakaalutemperatuuri.

2.6 Elektri- ja gaasitarbimine

2.6.1 Elektritarbimine

Elektri tarbimise andmete analüüsiks on vaja kogu korterelamu andmeid, mis koosnevad korterite elektri ja elamu üldelektri tarbimisest. Üldistusi ei ole lubatud teha üldelektri tarbimise andmete alusel. Tarbimisandmete analüüsiks peab töö tellija kindlustama energiaaudiitorit ka kõikide korterite elektrienergia kuluandmetega summaga (korterühistu saab tellida tarbimiskoha elektrienergia teatise liitumispunktis elektriteenuse pakkuvalt (Eesti Energialt näiteks aadressilt teenindus@energia.ee)). Kuluandmed peaksid olema vähemalt 3 aasta andmed kuude kaupa, nii nagu ülejäänud tarbimisandmed.

Üldelektri tarbimine sisaldab tavaliselt trepikodade ja keldri valgustust, soojussõlme seadmete tarbimist, liftide ja ventilatsioonisüsteemi tarbimist. Kui tarbimiskohtadel eraldi voolumõõtmajaid ei ole, saab audiitor elektritarbimist rühmitada seadmete võimsuse ja töötamisaja alusel.

Korterite elektritarbimine võib sisaldada peale olmelise elektritarbimise (valgustus, kodumasinad, toiduvalmistamine) ka elektritarbimist kütteks (nt lokaalse küttega korterid, kus elektrit kasutatakse baaskütteks, alakõetud korterid või tsentraalsest küttesüsteemist lahti ühendatud korterid, õhk-õhk tüüpi soojuspumbad) ja sooja tarbevee valmistamiseks (elektri boilerid). Juhul kui elamus kasutatakse elektrit kütteks ja/või tarbevee soojendamiseks, tuleb need analüüsi jaoks eraldada, tuginedes sooja tarbevee kasutamise keskmisele mahule ja kortermajade elektri erikasutuse keskmisele väärtusele ja/või kortermajade olmeelektri standardkasutusele.

Seepärast tuleb esmalt hinnata valgustuseks ja seadmete tööks vajamineva elektrienergia osakaalu kütteperioodiväliste kuude tarbimisandmete analüüsi kaudu. Juhul kui hoone või selles paiknevad korterid on suvel kasutusel osaliselt (elanikud viibivad suvel suvilas või puhkusereisidel), tuleb hinnata andmete usaldusväärsust tarbevee kuluandmete alusel. Ehk kuude jooksul, kus tarbevee soojendamine on ühtlane, kasutatakse ka valgustust ning elektriseadmeid sarnase intensiivsusega.

Valgustus- ja elektriseadmete poolt eraldatava vabasoojuse hindamiseks kasutatakse elektri mõõtmisandmeid, mida tuleb läbi korrutada vabasoojuse utilisatsiooniteguriga, mis oleneb küttesüsteemi reguleeritusest.

2.6.2 Gaasitarbimine

Gaasitarbimise analüüs tuleb teha juhul, kui elamus tarbitakse gaasi ükskõik millisel kujul. Tavaliselt on tarbijateks gaasipliidid ja/või gaasiga veesoojendid. Korterühistu esitab audiitorile tarbimisandmetena gaasi kogused. Audit peab kajastama, kui palju majapidamisi tarvitab gaasiseadmeid ning kui suur energiahulk gaasi tarbimise tõttu elamu tarbimisse lisandub.

Juhul kui gaasi kasutatakse osades eluruumides kütteks, tuleb see samuti lisada kütteks kuluvale soojusenergiale ja kraadpäevadega normaalaastale taandada.

Gaasi tarbimine tuleb lisada energiabilansis vastavasse alaliiki:

- 1) gaasipliidid – majapidamisseadmed,
- 2) gaasiga veesoojendid – tarbevee soojendamine,
- 3) lokaalsed gaasikütteseadmed – ruumi kütmine.

Tähtis on näidata, kas gaasitarbimine annab lisa vabaenergiale või energiatarbimise teistele alaliikidele.

3. Hoone ülevaatus ja sisekliima mõõtmised

3.1 Objektitööde ettevalmistamine

Põhiline informatsioon korterelamu välispiirete seisukorra, kõikide tehnosüsteemide töövõime ning sisekliima kohta saadakse elamu tehnilise ülevaatus käigus. Objektitööde käigus kujuneb audiitoril tervikpilt elamu toimimisest ja seal esinevatest probleemidest. Objektitööd on energiaauditi oluline osa ja selle õnnestumine oleneb energiaaudiitori ja korteriühistu esindaja koostööst, seetõttu on vaja platsitöid planeerida ja kooskõlastada tegevused juba objekti külastamise ettevalmistamise käigus. Tarbimisandmete ja ankeetide eelnev analüüs aitab tähelepanu pöörata kitsaskohtadele, samuti tutvuda projektdokumentatsiooniga või hoone plaanidega. Objektitööde ettevalmistamine aitab aega kokku hoida ja piirduda ühe ülevaatusega, mis on eriti tähtis, kui auditi objekt asub audiitori elu- ja töökohast kaugel.

Objektitööde osad ja nende sisu:

1. Korterelamu välise ülevaatus ajal hinnatakse järgmisi näitajaid:
 - 1) välisseinte olukord, sh vuugid, fassaadi sidemed, külma-, korrosiooni-, mädaniku või muud kahjustused;
 - 2) keldriseinte ja sokli seisund ning võimalikud niiskuskahjustused; hüdroisolatsiooni olemasolu ja seisund;
 - 3) katusekatte seisukord ja ülemise korruse lae soojustus, katusest läbiviigud, katusekalded jne;
 - 4) vahetatud/vahetamata akende arv, tehnilised näitajad ja pindala, sh trepikodade aknad,
 - 5) välisuste olukord, arv, tehnilised näitajad ja pindala;
 - 6) vajadusel ja võimalusel kaardistatakse hoone välispiirete soojustehniline olukord termopildistamise teel;
 - 7) projektide või elamu inventariseerimisjooniste puudumisel tuleb audiitoril hoone üle mõõta või tellib mõõdistamisprojekti auditi tellija.
2. Tehnosüsteemide ülevaatus ajal hinnatakse seadmete seisukorda, amortisatsioonitaset ja renoveerimisvajadust:
 - 1) soojussõlme lahendus ja seadmed, pumpade võimsused, küttegaafik ning kütterežiim ööpäeva jooksul jne;
 - 2) kütte magistraalitorude ja isolatsiooni materjal, paksus ning seisukord;
 - 3) sooja tarbevee valmistamise viis ja seadmed ning magistraalitorude isolatsiooni materjal, paksus ja seisukord;
 - 4) küttesüsteemi lahendus ja kasutatud radiaatorite tüübid, tasakaalustus- ja radiaatori termostaatventiilide ning tasakaalustusprotokolli olemasolu (radiaatoritest korterites, mis ei soojene ühtlaselt, on soovitatav teha termopildid);
 - 5) ventilatsioonisüsteemi seadmed ja ventilatsioonikanalite seisukord;
 - 6) üld- ja korterite elektrisüsteemi seisukord. Elektri peakilbi kontaktide ülevaatus on võimaluse korral soovitatav teha termokaameraga.
3. Elamu välispiirete liitekohtade, läbiviikude ja külmasildade olemasolust ja sisekliima olukorrast ülevaate saamiseks külastab audiitor kokkulepitud kava alusel kortereid, kus ilmnevad tavaliselt kõige sagedamini niiskus- ja hallitusprobleemid (tüüpiliselt alumise ja ülemise korruse otsaseintega piirnevad korterid) ja kortereid, kus on probleeme, mille suhtes korteriühistu soovib saada audiitori hinnangut või soovitusi. Korterite ülevaatus käigus on võimalik teha järgmisi mõõtmisi:
 - 1) soojuslikku mugavust ja niiskuskooormust iseloomustavad parameetrid (õhutemperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumiskiirus, niiskustase);
 - 2) siseõhu kvaliteedi mõõtmine (ventilatsiooni õhuvooluhulgad, avade olemasolu ja õhu liikumine nendes, õhu süsihappegaasi kontsentratsioon jne);

- 3) termokaameraga külmasildade termopildistamine, et määrata külmasildade kriitilise temperatuuriindeksi meetodil;
 - 4) logerite paigaldamine valitud (probleemsetesse) korteritesse sisekliima ajaliste muutuste mõõtmiseks.
4. Elamu ülevaatus käigus mõõdetakse ka keldri õhutemperatuuri ja trepikodade temperatuuri alumise ja ülemise korruse tasandil.
- Audiitoril on soovitatav koostada ülevaatusleht, mille alusel objektile toimetada, et ükski oluline detail tähelepanuta ei jääks ja teha ohtralt fotosid, millest on hiljem abi aruande koostamisel. Põhjalik objektitöö lihtsustab auditi koostamist, võimaldab kirjutada paremat aruannet.

3.2 Sisekliima ja õhuvahetuse pisteline mõõtmine ülevaatus ajal

Ruumide sisekliimat iseloomustavate parameetrite (temperatuur, suhteline niiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon) operatiivseks mõõtmiseks on mugav kasutada sisekliima mõõteseadet, millel on kõigi kolme parameetri mõõtmise funktsioon. Kui liikuda mõõtmise käigus erineva temperatuuriga ruumides, tuleb arvestada mõõteseadme ajateguri ja inertsiga, mõõteseadet vajab aega näitade stabiliseerumiseks. Vastasel juhul võib saada ebatäpseid näituseid. Mõõtmise kiirendamiseks sobib kasutada väikest patareitoitel ventilaatorit, mis ruumiõhku mõõteseadme kaudu puhub.

Eelisel sajandil ehitatud kortermajade ventilatsioon on lahendatud loomuliku ventilatsioonina, kus värske õhu juurdevool oli projekteeritud akende/uste ebatiheduste kaudu. Seintes enamasti puuduvad värskeõhuavad. Saastunud õhu väljatõmbeks on köökides ja sanitaarruumides avad, mis on ühendatud lõõridega ja seal on võimalik õhu liikumiskiirust anemomeetriga mõõta. Need mõõtmised on kvalitatiivse iseloomuga. Vahetatud akendega korterites on soovitatav mõõtmise teha suletud akendega ruumis. Et näidata akna asendi mõju õhuvahetusele, tuleks mõõta ka osaliselt avatud akendega. Hoonetes, kus on mehaaniline ventilatsioon õhu sissepuhke ja väljatõmbega, saab mõõta õhuvooluhulkasid ning arvutada ka tegelikku õhuvahetuse mahtu ning võrrelda seda sisekliima normväärtustega.

3.3 Sisekliima mõõtmine logerite abil

Kui sisekliima parameetrite (õhutemperatuur, suhteline niiskus, süsihappegaasi tase) jälgimiseks kasutatakse logereid, tuleks need paigaldada mõõdetavatesse korteritesse vähemalt nädalaks ajaks. Korterite arv oleneb hoone suuruselt. 5 kuni 10 % korteritest võib anda piisavalt hea ülevaate korterelamu sisekliima olukorrast ja probleemidest. Otsuseintega piirnevad alumise ja ülemise korruse korterid on tavaliselt probleemide ulatuse head indikaatorid. Logerid paigaldatakse elu- või magamistubadesse siseseina lähedusse, piirkonda, mis on eemal küttekehast ja muudest soojusallikatest (näiteks valgustid, päikese otsekiirgus). Koos sisekliima parameetritega on vaja mõõta või leida usaldusväärsed andmed (Riigi Ilmateenistus) selle piirkonna välistemperatuuri ajaliste muutuste kohta. Sise- ja välistemperatuuri sünkroonne jälgimine annab teavet küttesüsteemi seadistuse ja korrasoleku kohta. Sise- ja välisõhu veeaurusisalduse sünkroonne jälgimine annab teavet ruumide niiskuskooormustest. Eluruumide süsihappegaasi taseme kõikumine seoses elanike kohalolekuga võimaldab arvutada ruumi õhuvahetuse taset (märkegaasi meetod). Logeritega lühiajaliselt mõõdetud piiratud arvu ruumide keskmist temperatuuri ei saa käsitleda hoone kütteperioodi keskmise temperatuurina.

3.4 Korterite ankeetküsitlused

Audiitoril on vaja korterelamu analüüsimiseks teada elanike hinnangut tehnosüsteemide toimimise kohta ja sisekliima vastavust elanike ootustele. Üks võimalus on küsitleda elanikke elamu ülevaatus ajal. Korterite sisekliima ankeedi kasutamine enne ülevaatus võimaldab saada parema ülevaate elamu olukorrast. Ankeeti on võimalik lisada ka küsimused akende ja radiaatorite vahetamise, sooja tarbevee ja toidu valmistamiseks kasutatavate seadmete ning

ruumide ventileerimiseks kasutatavate mooduste kohta. On soovitatav välja selgitada niiskusekahjustuste ja hallituse olemasolu ning ulatus. Ankeetküsitluste tulemuste töötlemisel on võimalik lokaliseerida probleemid hooneosade, näiteks korruste või trepikodade kaupa ja vastavalt sellele koostada ka rekonstrueerimissetepanekud. Ankeetküsitluse tulemuste hindamisel on vaja meeles pidada, et tegemist on elanike subjektiivsete hinnangutega, mis ainult kogumina annab audiitorile objektiivse pildi elamu sisekliima olukorrast. Audiitoril on soovitatav kontrollida probleemsetena märgitud korterite tegelikku olukorda.

3.5 Tehnosüsteemide ülevaatus

3.5.1 Küttesüsteem ja soojusvarustus

Eesti oludes on vaja ruume kütta normaalse sisekliima loomiseks kõigis alaliselt kasutuses olevates ruumides. Hoonete soojusvarustus võib olla lahendatud mitmel erineval moel. Kortermajade kõige olulisemad tehnosüsteemid on seotud soojuse tootmise ja jaotamisega ning sisekliima probleemid saavad tavaliselt alguse ebapiisavast kütmisest. Audiitori ülesanne on välja selgitada elamu küttesüsteemi lahendus (radiaatorküte, pörandküte, õhkküte, lagiküte, erinevate soojusallikatega kohtküte jne) ja soojusvarustuse lahendus (nt kaugkütte baasil, lokaalkatlamajaga, elekterküte või muu kohtküte). Mõningatel juhtudel võib esineda ka erinevate kütelahenduste koostoimet. Näiteks võib olla kaugküttega elamus tsentraalsest küttesüsteemist lahti ühendatud kortereid, kus on elekterküte. Väiksemates asulates ja maapiirkondades on sageli kortermaju, kus osa elamut köetakse lokaalkatlamajast ja osa kortereid on kohtküttel. Elamu ülevaatus käigus tuleb küttesüsteem koos kõigi erisustega välja selgitada.

Kaugküttel põhineva tsentraalse vesiküttesüsteemi puhul tuleb tähelepanu pöörata järgmistele olulistele komponentidele:

- 1) soojussõlme tüüp, kas avatud segamissõlm või soojusvahetiga kinnine süsteem,
- 2) soojussõlme automaatika olemasolu ja seadistus,
- 3) kütte jaotussüsteemi ehituspõhimõte, kas ühe- või kahetoruline,
- 4) tasakaalustusventiilide ja tasakaalustusprojekti olemasolu,
- 5) tsirkulatsioonipumbad ja nende võimsus,
- 6) küttekehade tüübid ja regulaatorventiilide ning termostaatide olemasolu.

Lokaalkatlamaja puhul lisanduvad küttesüsteemi andmetele katlamaja iseloomustavad andmed ja kasutatava kütuse liik. Oluline on ka katlamaja kasutusviis, kas pidev automaatikaga juhitud kütmine või perioodiline kütmine.

Korteritega seonduva kohtküte puhul on vaja välja selgitada kasutatavate küttesüsteemide tüübid ja kütusekulu iga küttesüsteemi tüübi jaoks eraldi. Õhk-õhk soojuspumbad on kohtküte süsteemi osa.

Uusehitistes ja rekonstrueeritud korterelamutes on hakatud kasutama energia tootmiseks taastuvenergia lahendusi: tarbevee soojendamiseks päikesekollektoreid ja elektri tootmiseks päikesepaneele. Energiabilansi koostamisel on vaja arvestada hoones tarbitud taastuvenergiat.

3.5.2 Ventilatsioonisüsteem

Mehaanilise ventilatsiooniga kortermaja ventilatsioonisüsteemi põhiosad on ventilatsiooniagregaadid, sissepuhke ja väljatõmbe torustik ning plafoonid eluruumides. Mehaanilise ventilatsiooniga elamutes on võimalik mõõta mõõtelehtriga varustatud anemomeetriga või plafoonil mõõdetud diferentsiaalrõhu kaudu õhuvooluhulki nii sissepuhke- kui ka väljatõmbeavades. Nende mõõtmiste alusel saab arvutada korteri õhuvahetuse taset ja võrrelda seda normväärtustega. Reaalsuses on mehaanilise ventilatsiooniga süsteemid sellel sajandil ehitatud ja ka rekonstrueeritud kortermajades. Eelmisel sajandil ehitatud kortermajade ventilatsioon on tavaliselt lahendatud loomuliku ventilatsioonina, kus värske õhu juurdevool oli projekteeritud akende/uste ebatiheduste kaudu. Seintes enamasti puuduvad värskeõhuavad. Saastunud õhu väljatõmbeks on köökides ja sanitaarruumides avad, mis on ühendatud lõõridega. Osa ventilatsioonikanaleid võib olla ummistunud ja ventilatsiooni intensiivsuse

reguleerimiseks puudub võimalus. Ventilatsiooniprojekti kohaselt peaks igal korteril olema oma ventilatsioonikanal või individuaalne ühendus peakanaliga. Sageli on mitu korterit ühendatud ühe ventilatsioonikanali külge, mille tõttu saavad lõhnad ühest eluruumist teise liikuda ja põhjustada ebamugavust. Korterite sanitaarremondi käigus on ventilatsiooniavasid kinni ehitatud või on need mööbli taha jäänud. Korterite ülevaatuse käigus on vaja need ebakohad fikseerida. Puuduliku ventilatsiooniga seondub tavaliselt kõrgem õhuniiskuse ja süsihappegaasi tase. Õhu liikumise mõõtmine ventilatsiooniavades on kvalitatiivse iseloomuga, võimaldab hinnata lõõride töövõimet ning kogu korteri ventilatsiooni olukorda.

3.6 Termograafia

Kõetava hoone välispiirete soojustehniliste omaduste ebaühtlus kajastub välispiirete pinnatemperatuuride ebaühtluses, kui piirdega eraldatud ruumides on erinev temperatuur. Piirde pinnatemperatuuride jaotust saab kasutada soojuslähivuse ebaühtluse põhjuste tuvastamiseks, milleks võivad olla erinev materjalikasutus, soojustusdefektid, konstruktsioonilised, geomeetrilised või ehituslikud külmasillad, niiskusest tingitud suurem soojuslähivus või õhuleke konstruktsioonide ebatiheduste kaudu. Hoonete termograafia on meetod, mis soojuskiirguse mõõteseadme kaudu (termokaamera) võimaldab visualiseerida ja salvestada uuritava hooneosa näivat kiirguslikku pinnatemperatuuride jaotust termopildina. Termograafia on hoone välispiirete kvalitatiivne uuring, mille meetodika on kirjeldatud standardis EVS-EN 13187:2001 [11]. Kogemustega termografist suudab termopilte analüüsides välja tuua ebaregulaarsuste tõenäolised põhjused. Termopilte saab teha nii välispiirete sise- kui ka välisküljelt. Nii võib saada mõnevõrra erinevat informatsiooni.

Piirdetarindi pinnatemperatuur ei võrdu ümbritseva õhu temperatuuriga piirde pinnal oleva üleminekukihi soojustakistuse tõttu. Selle üleminekukihi takistus oleneb soojusvoo suunast ja on erinev seinte, lagede ja põrandate sise- ning välispinna jaoks.

Tabel 1. Piirdetarindi pinnakihi soojustakistuse standardväärtused.

Piirdetarindi sise- ja välispinna soojustakistus R		
Soojusvoo suund	Sisepinna R_{si} , m ² ·K/W	Välispinna R_{se} , m ² ·K/W
Horisontaalne (sein)	0,13	0,04
Üles (lagi)	0,10	0,04
Alla (põrand)	0,17	0,04

Tabel 2. Välisõhuga piirneva pinna soojustakistus olenevalt tuule kiirusest.

Tuule kiirus, m/s	Välispinna R_{se} , m ² ·K/W
1	0,08
2	0,06
4	0,04
7	0,03
10	0,02

Termopiltidel salvestatud pinnatemperatuuride väärtuste kaudu on võimalik kvantitatiivselt iseloomustada piirdetarindite, eriti külmasildade soojus- ja niiskustehnilisi omadusi (EVS-EN ISO 13788 [12]). Konstruktsiooni sisepinna temperatuuri (t_{si} , °C), välisõhu temperatuuri (t_e , °C) ja siseõhu temperatuuri (t_i , °C) omavahelist suhet kirjeldab dimensioonitu parameeter temperatuuriindeks f_{Rsi} , mis ei sõltu sise- ja välistemperatuuride vahest mõõtmiste ajal

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} = 1 - U_T \cdot R_{si}, \quad (1)$$

siit tuleneb, et

$$t_i - t_{si} = U_T \cdot R_{si} \cdot (t_i - t_e) \quad (2)$$

kus R_{si} – piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m²·K/W,
 R_T – piirdetarindi kogusoojustakistus, m²·K/W,
 $U_T = 1/R_T$, piirdetarindi soojuslähivus, W/(m²·K).

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

Valemid (1) ja (2) kehtivad statsionaarses olukorras, kus piirdetarindeid ümbritsevad temperatuurid on püsivad pikka aega muutumatutena. Siseõhu temperatuuri ja piirdetarindi sisepinna temperatuurierinevus on seda suurem, mida suurem on piirdetarindi soojusläbivus, pinnakihi soojustakistus ja temperatuuride vahe mõõtmiste ajal. Samasugune sõltuvus kehtib ka väljastpoolt termografeerimise korral. Samasuure soojusläbivusega seina termografeerimisel seestpoolt on soojusjuhtivuse anomaaliast tingitud pinnatemperatuuri erinevused ca 3 korda suuremad kui sama piirkonda väljastpoolt termografeerides. Tuulise ilmaga väljastpoolt termopilti tehes võivad anomaaliad hoopis eristamatuks muutuda. Termopiltide tegemisel tuleb tööd kavandada lähtuvalt ilmastikutingimustest.

1. Olenevalt termokaamera tundlikkusest, sise- ja väliskliimatingimuste püsivusest, uuritava tarindi soojuslikust massiivsusest ja uuritava tarindi soojusläbivusest peab sise- ja välistemperatuuride vahe olema soovitatavalt ≥ 20 °C. Minimaalne temperatuuride vahe, mille juures ebaregulaarsused ilmsiks tulevad, oleneb konstruktsiooni eeldatavast soojusläbivusest. Valemi (2) järgi on väikese soojusläbivusega konstruktsiooni puhul vaja ebaregulaarsuste avastamiseks suuremat temperatuuride vahet, kui suure soojusläbivusega konstruktsiooni puhul. Näiteks, kui termokaamera eraldusvõime on 0,1 °C ja temperatuuride vahe on 20 °C, siis saab seina seestpoolt termografeerides avastada ebaregulaarsusi, mis on seina $U = 1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ korral suuremad kui 4% ja seina $U=0,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ korral suuremad kui 20 % seina nominaalsest soojusläbivusest. Samadest konstruktsioonidest väljastpoolt tehtud termopiltidelt saab avastada ebaregulaarsusi, mis on kolm korda suuremad. Rekonstrueeritud hoone väljastpoolt tehtud termopildid näitavad ainult väga jämedaid teostus- või konstruktsioonivigu.
2. Vähemalt 12 tundi enne ülevaatusel alustamist ja ülevaatusel ajal ei või uurimisalune pind olla otsese päikesevalguse ega öise selge taeva külmakiirguse käes. Ka hajusa päevavalguse tingimustes on vaja arvestada, et tumedad pinnad võivad rohkem soojeneda kui heledad pinnad, mis võib moonutada väljastpoolt tehtud termopiltidel soojusläbivusest tingitud temperatuurijaotust.
3. Hoone termograafilise ülevaatusel tulemused on usaldusväärsed, kui välistemperatuuri muutused ei ole suured [11]. Vähemalt 24 tunni jooksul enne ülevaatusel algust ei peaks välisõhu temperatuur muutuma rohkem kui ± 10 °C. Ülevaatusel ajal ei peaks välisõhu temperatuur muutuma rohkem kui ± 5 °C ja siseõhu temperatuur ± 2 °C. Temperatuurimuutuste mõju kontrollimiseks on soovitatav ülevaatusel lõpus teha termopilt samast konstruktsiooniosast, kus tehti ülevaatusel alguses esimene termopilt. Kui temperatuurimuutused võrreldavatel termopiltidel ei ületa 1–2 °C, võib järeldada, et temperatuurimuutused ei ole oluliselt mõjutanud ülevaatusel tulemusi.

Külmasilla temperatuuriindeks lubab kvantitatiivselt hinnata külmasilla niiskus- ja soojustehnilist mõju elamu sisekliimale ja konstruktsioonidele. Temperatuuriindeksi arvutamist on käsitletud standardites EVS-EN ISO 10211 ja EVS-EN ISO 10077.

Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas tehtud uuringute järgi võib külmasilda pidada niiskustehniliselt turvaliseks tabelis 3 toodud temperatuuriindeksi piirsuuruse järgi (mõõdetud tulemus peab olema piirsuurusest suurem).

Tabel 3. Külmasildade temperatuuriindeksi kriitilised väärtused

Niiskuscoormus	Temperatuuriindeksi piirsuurus f_{Rsi}	
	Hallituse vältimine	Kondensaadi vältimine
Talveperioodi keskmine niiskuskul $\Delta v \leq 2 \text{ g/m}^3$ (madala asustusega (eluruumid asustustihedusega üle 30 m ² inimese kohta) ja korralikult toimiva soojustagastusega ventilatsiooniga elamud)	0,65	0,55
Tiheda asustusega (eluruumid asustustihedusega kuni 30 m ² inimese kohta) ja rahuldavalt või puuduliku ventilatsiooniga (soojustagastuseta mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, loomulik ventilatsioon, eelkütteta sisepuhe jne) elamud	0,8	0,7

Elamu rekonstrueerimisvajaduse põhjendamiseks on oluline välja selgitada külmasildade kriitilisuse tase.

Termopildidel salvestatud pinnatemperatuuride kvantitatiivse analüüsi juures on vaja silmas pidada mõjutegurite rohkusest tingitud määramatust (pinna emissioonitegur, pinnakihi soojustakistuse olenevus pinna olekust, ümbritseva keskkonna temperatuurimuutused, foonikiirguse intensiivsus jne), mille tõttu saab arvutustulemusi käsitleda vaid objekti iseloomustavate indikaatoritena.

Termograafia kasutamine elamu ülevaatus käigus aitab audiitoril saada objektiivset ettekujutust välispiirete soojustehnilisest olukorrast, tegelikult kasutatud ehitusmaterjalide ja tööde kvaliteedist. Termograafilise ülevaatus kohta on soovitatav koostada energiaauditi lisana iseseisev aruanne.

4 Soojuskadude arvutamine hoone välispiirete kaudu

Energiaaudiitori ülesanne on võimalikult täpselt fikseerida välispiirete ja liitekohtade konstruktsioonid kohapealse vaatluse käigus, määrates piirete materjalid, nende paksused ning seisund. Objektitöö tõhustamiseks tuleks eelnevalt hankida hoone projekt ja kohapeal hinnata projekti vastavust tegelikule olukorrale. Juhul kui ühistul projekt puudub, on seda võimalik hankida kohaliku omavalitsuse arhiivist või lähtuda vastava hoone tüüpprojektist. Kui hoone kohta puudub igasugune ehitusprojekt, peab audiitor määratlema kohapeal hoone välispiirete konstruktsiooni vaatluse ja vajadusel ka konstruktsiooni avamise teel.

4.1 Piirdetarindite soojuskadude hindamine

Arvutusjuhised on esitatud „Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejoonised ja tüüpkorterite ventilatsioonilahendused” peatükis 2 [9], mille järgi arvutatakse hoone välispiirete summaarne soojuskadu välispiirdeosa soojusläbivuste, tarindite liitekohtade joonsoojusläbivuste, lokaalsete soojustuse katkestuste punktsoojusläbivuste soojuskadude summana.

Vastavad arvutusjuhised on järgmistes standardites:

1. EVS 908-1:2010 „Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire” [13].
2. EVS-EN ISO 13370:2008 „Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid” [14].
3. EVS-EN ISO 10211:2008 „Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid” [15].

Samuti on arvutusjuhised esitatud majandus- ja taristuministri määruses nr. 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ [16] §11...13, kus arvutusmeetodid on vastavuses ka eespool esitatud standarditega. Selle määruse §12 tabelis 7 esitatud tarindi liitekohta ja soojuskatkestuse soojusläbivused võivad oluliselt erineda tegelikkusest. Energiaaudiitor peab kasutama arvutustes konkreetse hoone piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivusi, kui nende kohta on piisavalt informatsiooni, või nende väikese mõju korral piirdetarindi redutseeritud soojusläbivust [10]. Esmases lähenemises võib kasutada ka Eesti elamufondi uuringutes välja arvutatud väärtusi või tugineda tabeli 4 väärtustele. Täpsem lähenemisviis on standardis EVS-EN ISO 10211:2008 „Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid.”[15].

Tabel 4. Tüüphoonete tarindi liitekohtade ja soojuskatkestuste joonsoojusläbivused [17]

Välisseina sõlm	Algne olukord/ Lisasoojustus +200 mm	Arvutatud külmasilla joonsoojusläbivus Ψ , W/(m·K)			
		Betoonsuurpaneel- korterelamu	Telliselamu	Puit (palk) elamu	Suur- plokkoone
Välisseina välisnurk	Algne olukord Soojustatud	0.50...(0.70)...1.30 0.12...0.18	0.25...0.30 0.13...0.17	0.04...0.06 0.04...0.06	0.13...0.15 0.09...0.11
Välisseina sisenurk	Algne olukord Soojustatud	0.12...(0.30)...1.10 0.00...0.02	0.00...0.03 0.00...0.01	0.00...0.02 0.00...0.01	0.00...0.02 0.00...0.01
Välissein/ vahelagi	Algne olukord Soojustatud	0.25...(0.50)...0.70 0.00...0.03	0.00...0.02 0.00...0.01	0.00...0.02 0.00...0.01	0.25...0.35 0.05...0.07
Välissein/ keldri lagi	Algne olukord Soojustatud	0.25...(0.50)...0.70 0.04...0.06	0.01...0.03 0.00...0.02	0.15...0.20 0.04...0.08	0.30...0.40 0.05...0.07
Välissein/ lodža- või rõduplaad	Algne olukord Soojustatud	0.15...(0.20)...0.65 0.18...(0.30)...0.65	0.01...0.02 0.10...0.15	Ei ole tüüpiline	0.30...0.35 0.27...0.33
Välissein/ viilkatus	Algne olukord Soojustatud	0.40...(0.55)...1.0 0.20...0.55	0.30...0.60 0.40...0.50	0.13...0.17 0.11...0.15	0.25...0.40 0.09...0.25
Välissein/ parapetiga katuslagi	Algne olukord Soojustatud	0.20...(0.25)...0.90 0.17...0.50	0.25...0.50 0.20...0.25	Ei ole tüüpiline	Ei ole tüüpiline
Välissein/ aken (originaal asendis)	Algne olukord Soojustatud	0.06...(0.13)...0.30 0.20...0.50	0.35...0.50 0.35...0.50	0.00...0.02 0.01...0.10	0.06...0.08 0.12...0.18
Välissein/ aken (soojustuse kihis)	Algne olukord Soojustatud	0.06...(0.13)...0.30 0.01...0.03	0.35...0.50 0.01...0.04	0.00...0.02 0.01...0.10	0.06...0.08 0.01...0.05

Tabelis 4 näidatud väärtuste vahemikku hindab energiaaudiitor vastavalt olemasolevale olukorrale iseseisvalt või kasutab arvutustes keskmist väärtust.

4.2 Õhuvahetuse soojuskadude hindamine

Õhuvahetuse soojuskadu koosneb kahest osast:

- 1) soojuskadu kontrollitava ja juhitava õhuvahetuse, sh soojustagastusega ventilatsiooni-seadmete kaudu,
- 2) mittekontrollitav õhuvahetus infiltratsiooni teel konstruktsioonide ebatiheduste kaudu.

Loomuliku ventilatsiooniga hoones, kus puuduvad värskeõhuavad, on infiltratsioon õhuvahetuse lahutamatu osa. Õhulekked on nendes elamutes peamine värske õhu allikas. Olemasoleva hoone piirdetarindite õhuleket saab mõõta ventilaatoriga survestamise teel standardi EVS-EN ISO 9972 [20] järgi. Seda tömahukat mõõtmist on vaja teha juhul, kui soovitakse saada täpsemat ülevaadet hoone õhutihedusest. Kortermaja energiaauditis võib kasutada Eesti elamufondi uuringutes mõõdetud suurus. Tellis- ja raudbetoonelamute uuringute alusel saab väita, et enamasti on õhuvahetus hoones vahetatud akende hulgast ning nende paigaldamise kvaliteedist, mida omakorda on võimalik hinnata akna-seina liite temperatuuriindeksi kaudu. Juhul kui energiaaudit termografeerimist ei sisalda, siis tuleks lähtuda, et ca 70 % vahetatud akendega korterelamus, kus puudub mehaaniline väljatõmbeventilatsioon, on õhuvahetuse tase alla 0,5 1/h.

Eesti elamufondi uuringud on näidanud, et enamasti on loomuliku ventilatsiooniga ruumide õhuvahetuse väärtused vahemikus 0,2...0,4 1/h, harvematel juhtudel ka üle 0,4 1/h.

Mehaanilise ventilatsiooniga eluruumides, kus on õhu sissepuhke- ja väljatõmbepafoonid, saab õhuhulkasid korrektselt mõõta ja ka õhuvahetuse mahtu arvutada. Selleks on erinevaid meetodeid, mida on kirjeldatud standardites EVS-EN 15239:2007 [21] ja EVS-EN 12599:2012 [22].

5 Kütte- ja soojaveesüsteemi soojuskad kütmata keldris

Küttesüsteemi soojuskad ning soojuskad sooja tarbevee valmistamisel olenevad põhiliselt torustikus voolava vee temperatuurist, nende soojustuse paksusest ja olukorrast ning torustike pikkusest. Torustike soojuseralduste suurus keldris sõltub olulisel määral sellest, kas hoones

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

on tsentraalne sooja tarbevee varustus või mitte ja kas on sooja vee toimiv tsirkulatsioon. Enamik keldri soojuseraldustest on seotud just soojustamata sooja tarbevee torustiku ja selle ringlusmagistraalide kadudega, sest soojaveesüsteem töötab aastaringselt ja on ühtlaselt kõrge temperatuuriga (pealevoolu temperatuur orienteeruvalt 55 °C). Küttesüsteemi soojuseraldused olenevad pealevoolu ja tagasivoolu temperatuuridest, mis omakorda on seotud välisõhu temperatuuriga ehk keldri küttemagistraalide soojuskaod on seda suuremad, mida madalam on välisõhu temperatuur.

Rekonstrueeritud korterelamute uuringu järgi [8] on olemasolevate renoveerimata korterelamute puudulikult isoleeritud kütte ja tarbevee tsirkulatsioonitorustike soojuseralduseks keldris 5–20 kWh/(m²·a) (hoone köetava pinna kohta). Soojuseralduse tõttu on keldri ruumiõhu temperatuur kõrgem ja soojuse kadu esimese korruse põranda kaudu väiksem. Vähenenud soojuslähikannet keldri vahelae kaudu võib käsitleda kui vahelae väiksemat soojuslähivust ja seda saab arvutada temperatuuri vähendusteguri f kaudu [23]. Temperatuuri vähendusteguri kaudu kantakse keldris torustike jahtumiskadude soojus üle köetavasse ruumi ja võetakse soojusbilansis arvele küttekuluna.

Energiaauditi lihtsustatud mudelis piirneb hoone köetav maht keldri vahelaega. Torustike soojuseralduste mõju hindamiseks on kütteperioodil piisav mõõta õhutemperatuuri erinevates keldri osades. Keldri õhutemperatuuri, välistemperatuuri ja alumise korruse eluruumide temperatuurierinevuste alusel saab standardi EVS-EN 12831:2003 [23] peatüki 7.1.4 kohaselt arvutada keldri lae temperatuuri vähendusteguri (f) ja ka tegeliku soojuserikao keldri lae kaudu.

$$f = \frac{t_i - t_k}{t_i - t_e} \quad (3)$$

$$H_{k.lagi} = \sum_j f \cdot A_{k.lagi,j} \cdot U_{k.lagi,j} \quad (4)$$

kus t_i – köetava ruumi keskmine siseõhutemperatuur keldri kohal, °C

t_k – keldriõhu keskmine temperatuur, °C

t_e – välisõhutemperatuur, °C

$H_{k.lagi}$ – soojuserikadu keldri lae kaudu, W/K

$A_{k.lagi,j}$ – keldri lae elemendi (j) pindala, m²

$U_{k.lagi,j}$ – keldri lae elemendi (j) soojuslähivus, W/m²·K

Enamasti on tüüpkelldri vahelaekonstruktsioonide soojuslähivus vahemikus 0,8–1,7 W/(m²·K). 1970-ndate alguseni kasutati keldri vahelae betoonpladipealseks soojustuseks 50 mm klaasvatt- või saepurusoojustust põranda laagide vahel ning hilisemalt kas ühekordset või topeltkihiga puitkiudplaat paksusega 13 mm. Saepurusoojustuse korral on keskmine põranda soojuslähivus orienteeruvalt 1,4 W/(m²·K), klaasvattsoojustusega 1,0 W/(m²·K) ning puitkiudplaatidega soojustatud konstruktsioonil 1,5 W/(m²·K). Temperatuuri vähendustegur on olenevalt keldri torustike soojuseraldustest ja keldri välispiirete soojuslähivustest vahemikus 0,2 kuni 0,45.

Lisas 2 on näidatud ühe viiekordse suurpaneelilamu näitel vähendustegurite seos torustike soojuseraldustest ja keldri välispiirete soojuslähivustest. Tabelis 7 on tegurid seisukorra kohta, kus keldri lae soojuslähivus on 1,4 W/(m²·K) ning Tabelis 8 seisukorra kohta, kus lae soojuslähivus on 1,0 W/m²·K. Tabelites väljendab tähis „A“ soojustamata sokli seisukorda erinevate torustike soojustamise korral, „B“ väljendab seisukorda, kus nii sokkel kui ka keldri sein on soojustatud. Variant „C“ näitab seisukorda, kus ainult sokkel on soojustatud erinevate torustike soojustamise korral. Tabelist 7 saab järeldada, et juhul kui sokkel on soojustatud ning torustiku soojusisolatsiooni paksus torul Ø40 mm on 40 mm, siis keldrilae soojuslähivuse temperatuuri vähendustegur on 0,3 ning keldris torustikust eralduv aastane soojushulk on 15,4 MWh. Kui sokkel on soojustamata ning torustikel vananenud soojusisolatsioon, siis temperatuuri vähendustegur võrdub 0,25. Torustikust eralduv soojushulk keldris on aastas aga 43,5 MWh. Ainult sokli soojustamise mõju hindamiseks

tuleb võrrelda olukordi A ja C, kus temperatuuri vähendustegur on esimesel juhul 0,34 ja teisel 0,29.

Kui audiitor soovib täpsemalt hinnata keldri soojuseraldusi, tuleb keldri kohta koostada soojusbilansi võrrand ja arvutada keldri välispiirete (põrand, vundament, sokkel jm) soojusläbivused vastavalt standardile EVS-EN ISO 13370:2008 [14]. Torustike soojuskadude arvutamiseks tuleb kaardistada kohapealne torustike paiknemine keldris, soojustuse materjal, paksus ja olukord ning fikseerida kütte- ja tarbevee temperatuurid. Lisaks on magistraaltorude summaarsete soojuskadude hindamiseks vaja teada nende pikkusi. Valdavas enamuses paiknevad kütte magistraaltorud keldri välisseinas mööda hoone perimeetrit ja sooja vee magistraaltorustik paikneb sageli keldri keskel elamu pikiteljel. Torustiku paiknemisest tuleneb torustiku ligikaudne pikkus.

6 Hoone energiabilanss

Hoone energiabilanss näitab, kui suur on hoone summaarne energia tarbimine ning kui palju selle katmiseks energiat tarnitakse ja millistest komponentidest see koosneb.

6.1 Hoone soojusbilanss

Soojuse lihtsustatud bilansivalem kululiikide alusel on järgmine:

$$Q_{\text{kogukulu (arvesti järgi)}} = Q_{\text{välispiirded}} + Q_{\text{õhuvahetus}} + Q_{\text{soe vesi}} \quad (5)$$

Soojuskadude arvutamisel on oluline arvestada hoone tasakaalutemperatuuriga, mis määratakse vabasoojuse arvutuste, soojusenergia kasutamise ja hoone kütteperioodi keskmise sisetemperatuuri kaudu.

Kõetava hoone soojuserikadu ja summaarne soojuskadu välispiirdetarindite kaudu

$$H_T = \sum_k A_k \cdot U_k + \sum_j \Psi_j \ell_j \quad (6)$$

$$Q_{\text{välispiirded}} = S_k \cdot H_T \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad \text{MWh} \quad (7)$$

kus H_T – soojuserikadu piirdetarindite kaudu, W/K

A_k – piirdetarindi (k) pindala, m²

U_k – piirdetarindi (k) soojusläbivus, W/(m²·K)

ℓ_j – joonkülmasilla (j) pikkus, m

Ψ_j – joonkülmasilla (j) lisasoojusjuhtivus, W/(m·K)

S_k – tasakaalutemperatuurile vastav kütteperioodi kraadpäevade arv

Kõetava hoone, milles puudub soojustagastusega ventilatsioon, ventilatsiooni soojuserikadu õhuvahetuse kaudu

$$H_V = L \cdot \rho \cdot c_{\delta} = n \cdot V \cdot \rho \cdot c / 3600 \quad (8)$$

Soojustagastusega ventilatsiooniga kõetava hoone, ventilatsiooni soojuserikadu õhuvahetuse kaudu

$$H_V = L \cdot \rho \cdot c_{\delta} \cdot (1 - \varphi) = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (1 - \varphi) / 3600 \quad (9)$$

Ventilatsiooni soojuskadu õhuvahetuse kaudu

$$Q_{\text{õhuvahetus}} = S_k \cdot H_V \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad \text{MWh} \quad (10)$$

kus H_V – soojuserikadu õhuvahetuse kaudu, W/K

L – hoone keskmine kütteperioodi õhuvooluhulk, m³/s

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, õhutihedus

$c_{\delta} = 1000 \text{ J/(kg·K)}$, õhu masserisoojus

φ = soojusvaheti temperatuuri suhtarv

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

V – hoone köetav maht, m^3

n – hoone keskmine kütteperioodi õhuvahetuse kordarv, $1/h$

Sooja tarbevee valmistamiseks kulunud soojusenergia

$$Q_{soe\ vesi} = M \cdot c_v \cdot \Delta t / 3600 + Q_{kaod} \quad \text{MWh} \quad (11)$$

kus M – tarbitud sooja vee maht, m^3

$c_v = 4,2 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$, vee erisoojus

$\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, tüüpiline temperatuuride vahe vee soojendamisel

Q_{kaod} – soojaveetorustiku utiliseerimatud soojuskaod suvekuudel

Hoone energiabilansi komponendid on soovitatav esitada tabelite kujul kululiikide kaupa ja ka energiabilanss koondtabelina. Viimases näidatakse ka energiaarvutuste tasakaalutemperatuuri ja õhuvahetuse kordarvu.

Soojusenergia erikulu arvutatakse hoone köetava pinna kohta vastavalt MTMm 55 esitatud definitsioonile [16]. Järgnevad tabelid käsitlevad netoenergia tarbimist ja netoenergia vajadust. Energia muundamisega seotud protsessid (katlaseadmed, soojuspumbad jm) on vaja läbi arvutada vastava energialiigi lähteandmete käsitlemise juures, võttes arvesse seadmete kasu- või muundamistegureid.

Tabel 5. Piirdetarindite juhtivuslikud soojuskaod

Piirdetarindi nimetus	Pindala, m^2	Soojus-läbivus, $W/(m^2 \cdot K)$	Soojus-erikadu, W/K	Soojus-energia kulu, MWh/a	Soojusenergia erikulu, $kWh/(m^2 \cdot a)$
Välisseinad					
Katus					
Põrand					
Ehitusaegsed aknad					
Vahetatud aknad					
Uksed					
Kokku					

Tabel 6. Joonsoojusläbivuste soojuskaod

Joonkülmasilla nimetus	Pikkus, m	Soojus-läbivus, $W/(m \cdot K)$	Soojus-erikadu, W/K	Soojus-energia kulu, MWh/a	Soojusenergia erikulu, $kWh/(m^2 \cdot a)$
Tarindite liitekohad, külmasillad jm					
Kokku					

Tabel 7. Õhulekete ja ventilatsiooni soojuskaod

Nimetus	Õhu-vooluhulk, m^3/s	Soojus-erikadu, W/K	Soojus-energia kulu, MWh/a	Soojusenergia erikulu, $kWh/(m^2 \cdot a)$
Infiltratsiooniõhu soojendamine				
Sisepuhkeõhu soojendamine				
Kokku				

Juhul kui hoones on loomulik ventilatsioon, ei ole võimalik hinnata infiltratsiooni ja loomuliku sisepuhkeõhu vooluhulka eraldi. Mehaanilise soojustagastusega ventilatsiooni korral arvutatakse sisepuhkeõhu soojuserikadu koos soojustagastusega (erikadu ei sisalda soojustagastusest saadavat ja hoones ärakasutatavat soojust).

Tabel 8. Energiavajadus sooja tarbevee soojendamiseks

Nimetus	Sooja vee tarbimine, m ³ /a	Energiakulu, MWh/a	Soojusenergia erikulu, kWh/(m ² ·a)
Vee soojendamine kaugküttest			
Torustiku jahtumiskaod suvel			
Vee soojendamine elektri- või gaasiboileritega			
Kokku			

Tabel 9. Soojusbilansi koondtabel

Tarbimisliik	Mõõdetud tarbimine, MWh/a	Arvutatud tarbimine, MWh/a	Erikulu, kWh/(m ² ·a)	Soojus-erikadu, W/K
Normaalaastale taandatud soojustarbimine – <i>Q kogukulu (arvesti järgi)</i>				
Soojuskadu piirdetarindite kaudu – <i>Q välispiirded</i>				
Soojuskadu õhuvahetuse kaudu – <i>Q õhuvahetus</i>				
Soojusenergia vee soojendamiseks – <i>Q soe vesi</i>				
Kokku				
Tasakaalutemperatuur, °C				
Õhuvahetuse kordarv, 1/h				

Selles tabelis on esitatud netoenergia tarbimine ja netoenergia vajadus. Normaalaastale taandatud soojustarbimine võib sisaldada mitme erineva energialiigi summaarset tarbimist.

Juhul kui hoones toodetakse taastuvenergiaga soojust, tuleb soojusbilansi koostamisel arvestada ka toodetud energia kogusega (päikesekollektorid, heitveesoojustagastus). Juhul kui toodetud soojust müüakse soojusvõrku, tuleb seda energiat käsitleda kui eksporditud energiat.

6.2 Hoone elektritarbimine

Tabel 10. Elektrienergia kulu

Nimetus	Elektri-energia kulu, MWh/a	Elektrienergia erikulu, kWh/(m ² ·a)
Korterite elektritarbimine		
sh olmeline tarbimine		
sh tarbevee soojendamine		
sh tarbimine kütteks		
Tarbimine väljaspool eluruumi		
sh üldvalgus		
sh soojuskeskuse seadmed (pumbad)		
sh ventilatsiooniseadmed		
sh liftid ja muud seadmed		
Hoones toodetud elektrienergia		
Kokku		

Elektrienergia jaotamine kululiikide järgi on võimalik kas mõõtmisandmete alusel või seadmete võimsuse ja kasutuskooormuse alusel.

Elektrienergia kulu kogusumma peab vastama tarnitud elektrienergia summale. Juhul kui hoones toodetakse elektrienergiat, tuleb bilansi koostamisel ka sellega arvestada.

6.3 Hoone gaasitarbimine olmelisteks vajadusteks

Tabel 11. Majapidamisgaasi kulu

Nimetus	Gaasi- tarbimine, m^3	Tarbitud primaarenergia, MWh/a	Energia erikulu, $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$
Gaasi tarbimine			
sh pliidigaas			
sh tarbevee soojendamine			
Gaasi tarbimine muuks otstarbeks			
Kokku			

Gaasi tarbimist soojusenergia tootmiseks käsitletakse hoone soojustarbimise all.

6.4 Soojusbilansi koostamise tähelepanekud olemasoleva olukorra kohta

Hoone renoveerimiseelse soojusbilansi koostamise aluseks on hoone kütteenergia kuluandmed, mis on taandatud energiaarvutuste baasaastale. Enamik vigu on siinkohal seotud osa kuluandmete valesti taandamisega või taandamata jätmisega, nagu kütteenergia elektrist või tarbitud gaasist. Probleemid ilmnevad juhul, kui neid lokaalseid soojusallikaid kasutatakse mugava siseõhutemperatuuri kindlustamiseks.

Soojusbilansi koostamise peamine probleem on olemasolevas olukorras piirdetarindite vale soojusläbivuste hindamine. Erinevused võivad olla nii üles- kui allapoole. Samuti on enamikus auditites küsitava väärtusega ka esimese korruse või siis keldri piirdetarindite soojusläbivuse hindamine. Juhul kui hoonet lahendatakse ühetsoonilisena, tuleks keldri lagi koos keldriseintega võtta arvesse kui välispiire.

Arvutusliku soojusbilansi koostamisel on vabasoojuseraldused saadavad elektritarbimisest, inimeste arvust, päikese mõjust akendele jne. Fikseeritud vabasoojuse eralduse kasutamine ei ole täpne, kuna kõik hooned on erinevad tulenevalt orientatsioonist, elektritarbimisest, asustustihedusest jne. Seetõttu ei ole õige varasemates juhendites käsitletud vaikesuuruse ($50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$) kasutamine, mis sobib ainult esmaseks hindamiseks. Vabasoojuse arvutustes tuleb lähtuda hoone tegelikest tarbimisnäitajatest ja lisaks arvestada ka päikesest tuleneva vabasoojusega, mis oleneb akende orientatsioonist ilmakaarte suhtes, avatäites oleva klaaspaketi osakaalust, selle päikese läbivusest (g või SHGC väärtusest) ning välimistest ja sisemistest varjestusest. Sellekohane arvutusjuhisis on raamatus „Hoonete küte“ peatükis 4.4 [10] (täpsemalt lahti kirjutatud peatükis 7).

Energiaauditis tuleb soojusbilansi koostamisel eraldada energiakulu välispiiretele ($U, \text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ja $\Psi, \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $q_{50}, \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) ning õhuvahetusele. Juhul kui soovitakse näidata piirete soojustamise mõju külmasildade vähendamisele, tuleb kindlasti tuua eraldi välja juhtivuslikud, külmasildade ning õhulekete soojuse erikaod. Kui hoonetele ei tehta õhulekke mõõtmist, siis võib esimeses lähenemises kasutada hinnangulise väärtuse saamiseks elamufondi uuringuid. Loomuliku ventilatsiooniga hoonetes hinnatakse hoone õhuleket koos loomuliku ventilatsiooniga. Renoveeritud ventilatsioonisüsteemiga (ventilatsiooni agregaatidega) korterelamutes tuleb hinnata infiltratsiooni ja ventilatsiooni eraldi. Mõõtmisi tegemata võib hinnata filtreeruvaks õhukoguseks (q_{50} väärtuseks) $2\text{--}6 \text{ m}^3/(\text{h} \vee \text{m}^2)$. Mehaanilise ventilatsiooni korral peab ventilatsiooniõhu soojendamiseks kulunud energiahulk tuginema õhuvooluhulkade mõõtmisele. Loomuliku õhuvahetuse hindamise juures on võimalik täpsema tulemuse saamiseks kasutada ka märkegaasi meetodit.

7 Vabasoojused ja tasakaalutemperatuurid

Hoone siseõhu temperatuur formeerub kütte- ja vabasoojuse koosmõjul. Vabasoojuse allikateks on inimesed, elektriseadmed, elektrivalgustus, päikeseikiirgus. Hoone soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini kaetakse vabasoojusega ja täiendavat soojust vajatakse alles siis, kui välisõhu keskmine temperatuur on langenud alla hoone tasakaalutemperatuuri.

Vabasoojuskooormus koosneb inimeste elutegevusest eraldunud soojusest (Φ_{in}), elektrivalguse ja seadmete eraldatud soojusest (Φ_{el}) ja päikeseikiirguse poolt ruumi toodud soojusest (Φ_p)

$$\Phi_{vs} = \Phi_{in} + \Phi_{el} + \Phi_p \quad (12)$$

Hoone temperatuuritõus vabasoojuse arvel on seotud vabasoojuskooormuse ja soojuseri-kadudega

$$\Delta t_{vs} = 1000 \Phi_{vs} / H \quad (13)$$

$$t_s = t_B + \Delta t_{vs} \quad (14)$$

kus H – hoone erisoojuskadu (Tabel 9), W/K
 Φ_{vs} – hoone keskmine vabasoojuskooormus, kW
 Δt_{vs} – temperatuuri tõus vabasoojuse arvel, °C
 t_B – hoone keskmine tasakaalutemperatuur, °C
 t_s – hoone keskmine siseõhutemperatuur, °C

Vanades loomuliku ventilatsiooniga kortermajades on vabasoojuse komponentide leidmiseks järgmised seosed [10], mida saab kasutada ka rekonstrueeritud hoonetes.

Inimestega seotud vabasoojuskooormus

$$\Phi_{in} = n_{in} \cdot 30 / 1000 \quad \text{kW} \quad (15)$$

kus n_{in} – elanike keskmine arv hoones

Korterite elektritarbimisega (olmeelekter) seotud vabasoojuskooormus

$$\Phi_{el} = Q_{el} \cdot 8,5 \cdot 10^{-5} \quad \text{kW} \quad (16)$$

kus Q_{el} – korterite aastane elektritarve, kWh/a

Päikeseikiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskooormus

$$\Phi_p = \sum \Phi_{ilmak} \cdot e \cdot K_{kl.osak} \cdot K_{kard} \cdot g \cdot A_a / 1000 \quad (17)$$

kus e – varjutegur. Kui täpsem info puudub, siis 0,75
 $K_{kl.osak}$ – klaasipinna osakaal kogu aknast, tavaliselt 0,8 ... 0,9
 K_{kard} – kardinade mõju akna valgusläbivusele, tinglikult 0,9
 g – klaasiosa päikeseikiirguse läbivustegur, oleneb klaaside omadusest
 A_a – akna pindala koos raamiga, m²
 Φ_{ilmak} – päikese keskmine kiirgusvoog akna pinnale olenevalt ilmakaarest, W/m²

Tabel 7. Keskmine päikeseikiirguse voog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest

Ilmakaared	Põhi	Kirre	Ida	Kagu	Lõuna	Edel	Lääs	Loe
W/m ²	28,1	32,0	42,7	57,9	64,4	57,6	42,6	31,7

Kiirgusvoog horisontaalpinnale – 60,1 W/m²

Päikesekiirgusega seotud vabasoojuse arvutamiseks on vaja arvutada akende pindalad olenevalt ilmakaarest. Enamikus rekonstrueerimata kortermajades on suur osa aknaid elanike initsiatiivil vahetatud plastikraamide ja 2 klaasiga pakettakende vastu, mille valgustehnilised omadused on ka elanikele endile teadmata. Seepärast on energiaauditis otstarbekas kasutada varjutus- ja muude mõjutegurite keskmist koefitsienti $e \cdot K_{kl.osak} \cdot K_{kard} \cdot g = 0,37$. Uute ja terviklikult rekonstrueeritud kortermajade puhul, kus akende omadused on täpsemalt teada, on võimalik iga koefitsienti eraldi arvesse võtta [10].

Kogu vabasoojust pole võimalik hoones 100% efektiivselt ära kasutada. Hoones genereeritud vabasoojuse kasutamise tase sõltub küttesüsteemi automatiseerituse astmest. Kuna vabasoojus ei eraldu ajaliselt ja ruumiliselt ühtlaselt, peab küttesüsteem vabasoojuse tõhusamaks ärakasutamiseks reageerima kiiresti vabasoojuse eraldumisele ja samapalju mainitud ruumiosas vähendama majja antavat soojusenergiat.

Väljas asuva temperatuurianduriga automaatse soojussõlme korral on vabasoojuse kasutustegur 0,55. Termostaatventiilidega varustatud radiaatoritega majas on vabasoojuse kasutustegur 0,70.

Tasakaalutemperatuur on oluline parameeter, mille väärtusest oleneb kraadpäevade arv ja arvutuslik soojustarbimine kütteks (valemid 7 ja 9). Hoone kasutuskohane tasakaalutemperatuur moodustub hoone kütteperioodi keskmise temperatuuri ja vabasoojuskooormusest tingitud temperatuuritõusu vahena. Olemasoleva kortermaja puhul ei ole kumbki nendest parameetritest olemuslikult täpselt määratavad. Kortermajade korterite sisetemperatuuri pikaajalised mõõtmised on näidanud, et mõõtmistulemuste keskväärtuse standardhälve on suurusjärgus 2 °C. Vabasoojuse arvutamise lähteandmed saadakse tervel real lihtsustavatel eeldustel ja utiliseeritav vabasoojuse hulk on samuti ligikaudne väärtus. Seetõttu on piisav, kui energiaarvutustes kasutatav tasakaalutemperatuur määratakse täpsusega 1 °C ja energiaarvutused tehakse Eesti kraadpäevade tabelis näidatud väärtustega [26]. Hoone keskmise sisetemperatuuri määramisel on lähtealuseks logeritega mõõdetud ruumide keskmine temperatuur, trepikodades ülevaatuse ajal mõõdetud temperatuur, hoone ülevaatuse ajal pisteliselt mõõdetud korterite temperatuur ja ankeetküsitluse tulemusena saadud keskmine temperatuur. Ükski nendest mõõtmistest eraldi ei anna hoone keskmise temperatuuri tegelikku väärtust. Audiitori ülesanne on erinevate andmete alusel määrata hinnanguliselt hoone tõenäoline kütteperioodi keskmine temperatuur. Kuna suvise päikese vabasoojuskooormusega tasakaalutemperatuuri arvutuste juures ei arvestata, on õigem normaalaasta kraadpäevade määramisel välja jätta ka suvised vastava temperatuuri kohased kraadpäevad.

8 Välispiirete soojuskadude vähendamise võimalused

Välispiirete soojuskadude vähendamiseks tuleks need soojustada, sealhulgas vähendada konstruktsiooni liitekohtade soojuslähivust ning muuta need õhutihedaks. Välispiirete soojustamisel tuleb lähtuda konkreetse hoone võimalustest. Energiaauditi tellija peab arvestama, et energiaaudit ei ole piirdetarindite ehitustehniline ekspertiis, vaid on selle tehniline hinnang. Samas peab energiaaudiitor arvestama asjaoluga, et välisseintele soojustuse lisamiseks võib olla vajadus neid eelnevalt tugevdada. Soovitav on vastav ekspertiis tellida enne projektlahenduse teostamist. Juhul kui hoone välispiirete kandevõime ei võimalda lisasoojustamist, tuleks need eelnevalt tugevdada. Kui energiaaudiitoril puudub välispiirete kandevõime ekspertiis lisasoojustamise võimaluste kohta, võib ta teha soovitusi selle tellimiseks või hinnates piirete tehnilist olukorda nõuetele vastavaks viidata sarnastele hoonetele, kus lisasoojustamise võimalus ei tekita probleeme.

Optimaalne lisasoojustuse paksus välisseintes on 200...250 mm, katustel ca 300...400 mm olenevalt piirde algsest soojuslähivusest. Uued avatäited peaksid olema soojuslähivusega alla 1,1 W/m²K, mis tuleks paigaldada õhutihedalt soojustuse kihti, et vähendada akna ja välisseina liitekaha soojuslähivuse mõju [16]. Sarnaselt välisseintega tuleb lisasoojustada ka katus, sokkel ning keldri sein ning vahetada ka keldrikorruse ja trepikoja aknad.

Energiaauditis tuleks tähelepanu pöörata spetsiifilistele külmasildadele, mis nõuavad soojustamisel erilist tähelepanu. Näiteks aknaümbruse külmasild, alumise korruse põranda-seina-sokli liide, ülemise korruse lae-seina liide koos parapetiga!

9 Küttesüsteemi seisukord ja rekonstrueerimisvajadus

Küttesüsteemi seisukorra kirjeldamisel on oluline hinnata küttesüsteemi vanust. Juhul kui soojussõlm on ülejäänud süsteemist oluliselt uuem, tuleks see ka ära märkida. Süsteemi kui terviku kasutusiga võib olla erinev, seega tuleks lisaks vanusele kirjeldada ka võimalikke pisiremondi töid, mis süsteemiga viimase 10 aasta jooksul on tehtud. Kui avariisid on olnud palju, siis võib arvestada kiire rekonstrueerimisvajadusega. Kuna hindamine on visuaalne, oleneb see eelkõige hindaja kompetentsusest, seega võib üldistatult öelda, et kui süsteem on vanem kui 30 aastat ning süsteem pole küttekehade tasandil reguleeritav, tuleks süsteem renoveerida. Kui sõltumatu soojussõlm on hoonesse paigaldatud 1990-ndate alguses, siis vajab tänase seisuga ka see renoveerimist. Kindlasti on vaja ära märkida elanike omaalgatuslikult tehtud küttesüsteemi uuendused/radiaatorite vahetused, mis üldjuhul rikuvad esialgselt projekteeritud ja tasakaalus küttesüsteemi tööd.

9.1 Rekonstrueerimisettepanekud

Küttesüsteemi rekonstrueerimisel tuleb olemasolev ühetoruline vesiküttesüsteem muuta termostaatventiilidega reguleeritavaks. Soovitavalt tuleks see asendada uue kahetorulise vesiküttesüsteemiga.

Üheks levinumaks probleemiks kütte lahendamisel on soojuspumpsüsteemide korral küttegaafiku valimine. Mida madalam on küttele antava soojuskandja temperatuur, seda tõhusam on soojuspumba tootlikkus. Samas tähendab madalam kütterežiim ka suuremaid küttekehasid, kuid muutunud soojusbilansiga ei tohiks need olla suuremad kui kasutatavad küttekehad.

Auditis tuleb arvestada ka soojussõlme renoveerimisvajadusega ja soojusallikate lisamisel ka nende hinnaga.

Juhul kui hoones on oma katlamaja või igas korteris on eraldi kohtkütteseadmed, peab audiitor hindama nende terviklikku toimimist ja kasutusiga. Hoone ühtse toimimise eesmärgil on soovitatav rekonstrueerimislahenduseks viia hoone keskküttesüsteemile. Lahenduseks võib olla liitumine läheduses paikneva kaugkütte võrguga või kasutada kütmiseks lokaalset katelt (või soojuspumpa).

10 Ventilatsioonisüsteemi olukord ja rekonstrueerimisvajadus

Kui hoones on ehitusaegne loomulik ventilatsioon, siis tuleb kirjeldada lõõride lahendust (kas eraldi WC, vannituba-köök; kas eraldi iga korrus või ühislõõr jne) ja välisõhu korterisse pääsu lahendust. Kindlasti tuleks ära märkida ka vahepealsed renoveerimis- ning puhastustööd. Kui hoones on täiendatud loomulikku ventilatsiooni värskeõhuklappide/restide lisamisega, tuleks kirjeldusele lisada pistelised õhuvooluhulga mõõtmised. Sama kehtib ka osaliselt või täielikult mehaanilise ventilatsiooni kohta. Mõõtmisandmetele lisaks tuleks juurde märkida ka seadmete paigaldamise aeg ning vaatluse põhjal tehniline seisukord. Juhul kui süsteemis on olemas ka filtrid, siis ka nende vahetamisega seotud info. Lisada võiks ka fotomaterjali, mis aitaks olukorda paremini kirjeldada. Tavaliselt pole ainult loomuliku ventilatsiooniga võimalik vajalikku õhuvahetust hoones kasutusajal pidevalt tagada, seda on näidanud ka elamufondi uuringud.

10.1 Rekonstrueerimisettepanekud

Ventilatsiooni renoveerimise ettepanek peaks sisalduma juba nn igal juhul tehtavates renoveerimistöodes, millega oleks võimalik tagada II sisekliima klassi kohane õhuvahetus.

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

Senised uuringud on näidanud, et on otstarbekas ventilatsioonisüsteem varustada ka soojustagastuse lahendusega (eelistatuse järjekorras):

- korteris paiknev ja kogu korterit teenindav soojustagastiga (rootor või vastuvoolu) ventilatsiooniseade, kus utiliseeritavat heitõhusoojust kasutatakse sissepuhkeõhu soojendamiseks;
- tervet hoonet teenindav sissepuhke soojustagastiga (vastuvoolu) väljatõmbe ventilatsiooniseade, kus utiliseeritavat heitõhusoojust kasutatakse sissepuhkeõhu soojendamiseks;
- värskõhuradiaatoritega väljatõmbeventilatsioon, kus soojustagastus toimub väljatõmbeõhu soojuspumbaga ja utiliseeritavat soojust kasutatakse tarbevee soojendamiseks ja/või ruumide kütteks.

Uuringud on näidanud, et ruumipõhised sissepuhke-väljatõmbe seadmed ei sobi Eesti kliimatingimustesse ja korterelamutesse (ebapiisav õhuvooluhulk müra taotlustaseme juures, väike rõhutõus, ebapiisav õhuvahetus, vajalike seadmete paigalduseks ruumipuudus, tasakaalust väljas ventilaatorid, niiskete ruumide ventilatsioon ja soojustagastus jääb lahendamata, ventilatsiooni efektiivsus, soojuslik mugavus jne).

Süsteemi kirjelduse juures tuleks märkida kindlasti ka olulised parameetrid, nagu vajalik õhuvahetus ning süsteemi elektri erivõimsus (SFP), mille alusel on võimalik arvutada ka ventilaatorite kasutatavat elektrienergia kogust.

11 Rekonstrueerimispakettide koostamine

Tuleks koostada üldjuhul vähemalt kolm rekonstrueerimispaketti:

- nn 0-pakett ehk igal juhul vajaminevate tööde tegemine hoone püsimise ja sisekliima tagamiseks;
- energiakasutuse vähendamise pakett;
- energiakasutuse vähendamise ja taastuvenergia kasutuse pakett.

Kui hoone on juba oluliselt rekonstrueeritud või kui hoonel on muinsuskaitsest tulenevad piirangud, võib rekonstrueerimispakette olla ka vähem või rohkem.

11.1 Pakettide koostamise lähtealused

Rekonstrueerimispakettide koostamine peab toimuma järgmiselt:

1. Esimene, nn 0-pakett sisaldab hoones „**igal juhul vajaminevate tööde tegemist**“, mis tagab hoone edasise püsimise ning sellega EVS-EN 15251 standardi alusel [24] II sisekliima klassi.

Nende tööde eesmärk on saavutada eelkõige hoone elamisväärsena säilimine. See pakett on ka järgnevate rekonstrueerimispakettide koostamise aluseks, kuna selles sisalduvad tööd tuleb hoone edasise säilimise ja hea sisekliima tagamiseks kindlasti ära teha.

Kõnealune rekonstrueerimispakett on energiasäästupakettide tasuvusarvutuste aluseks. Hädavajalike töödena võivad pakettis olla kirjas näiteks katusekatte vahetus, vuukide tihendamine, viimistluse uuendamine, sillutisriba valamine, uue vihmaveesüsteemi ehitus, amortiseerunud kütte- ja tarbevee torustiku vahetus, väljatõmbe ventilatsiooni-lõõride puhastamine ja väljatõmbeventilaatorite paigaldamine ning välisõhu juurdepääsu tagamine korterisse. Elektrisüsteemi uuendamine mahus, mis tagab elektriõhusõltuvate seadmete täitmise.

Juhul kui hoones on viimase 10 kuni 15 aasta jooksul osaliselt tehtud loetelus esitatud renoveerimistöid, mis tagavad hoone edasise püsimise ja sisekliima säilimise, ei kajastata neid 0-paketis.

2. Kõik edasised **energiakadude vähendamise pakettid** peavad olema majanduslikult kulutõhusad. Seega otsitakse maksimaalset energiasäästu, et 0-paketiga võrreldes

maksumus ei suureneks, arvestades nii kapitalikulu (investeeringuga seotu) kui ka jooksvaid kulusid (energia jms). Hoonepiirete lisasoojustamise paksus on suurem, kui on vajalik vaid külmasildade vältimiseks. Ventilatsioonisüsteem peab olema soojustagastusega ning võimaldama sissepuhkeõhku soojendada. Miljööväärtuslikes piirkondades olevate hoonete puhul peavad energiatõhususmeetmed tagama, et piirkonna tänavamiljöö ei kahjustuks. Selleks tuleb näiteks samaaegselt soojustada nii välissein ja sokkel, tõsta aknad väljapoole, lahendada räästa üleulatus fassaadist, et säiliks hoone algupärane välimus.

3. Kõik edasised paketid keskenduvad **elektri ja soojuste valmistamisele taastuv-energiallikatest**. Siin võib pakkuda päikesekollektorite ning -paneelide paigaldamist, mis võimaldaks saavutada energiatõhusamat hoonet lokaalse elektri ja soojuste tootmise abil.
4. Teise ja kolmandasse pakettide rühma võib audiitor teha vastavalt korterelamu soovidele või võimalustele n-õ vahepaketid, mis võimaldaksid rakendada maksimaalselt energiatõhususe meetmeid kasutatavate rahaliste vahendite juures, kindlustades hoones teise sisekliima klassi kohased sisekliima parameetrid.

11.2 Rekonstrueerimispakettide energiasääst

Energiasäästu saavutamiseks tehakse n-õ igal juhul vajalikud tööd ehk 0-paketi tööd, millega kindlustatakse teise klassi sisekliima. Kuna sellega kaasneb tavaliselt energiakulu tõus, siis tuleb ka see välja arvutada. Järgmisi pakette tuleks võrrelda just sisekliima tagamisepaketiga kui normaalse ekspluatatsiooni olukorraga. Selgelt tuleb ehitusmaksumuse juures kirjeldada ka tööd, mis säästu ei anna, kuid mille tegemine hoone edasise toimimise osas on vältimatu. Nende tööde hulgas on näiteks hoone piirdetarindite püsimisega seotud ehitustööd ning tehnosüsteemide väljavahetamisega seotud tööd, mis tulenevad nende kasutusea lõppemisest. See annab ka tellijale selgema pildi n-õ hädavajalikest töödest, milleta hoone edasine kasutamine tekitab täiendavaid probleeme või mille pisiremondid hinnalt ületavad lähiaastatel oluliselt hoone terviklikku uuendamise kulud.

Alates esimesest vahepaketist, kus on juba energiasäästu andvad töid kirjeldatud, tuleks teha kokkuhoiu võrdlus 0-paketiga, tellija soovil ka võrdluses olemasoleva seisukorraga. Juhul kui auditi lähteülesandes on kirjas, et korterelamu soovib saada rekonstrueerimistoetust, on mõistlik siduda paketid vastavate toetusmeetmete pakettidega, mis võimaldavad ühistul valida komplektseid töid ja analüüsida tasuvusarvutustes koos vastava toetusega saavutatavat tasuvust.

11.3 Rekonstrueerimispakettide prognoositav energiatõhususarv

Rekonstrueerimispakettide prognoositav energiatõhususarv võimaldab hoonetele väljastada projekteeritud lahenduse energiamärgise. Võimalusel ja vajadusel tuleks iga renoveerimispaketi kohta esitada hinnanguline energiatõhususarv: arvutuslik summaarne tarnitud energiate kaalutud erikasutus hoone tüüpkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiate kaalutud erikasutus.

Kindlasti peaks üks pakettidest vastama D- ning üks C-energiatõhususklassile.

Need klassid tuleb arvutada määruste „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ [16] ja „Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika“ [13] järgi. Sageli võib hoone elektrienergia kulu seadmetele ja valgustusele ning soojusenergiakulu tarbevee soojendamisele oluliselt erineda arvutusmeetoodikas esitatud väärtustest. Energiatõhususarv leitakse hoone tüüpkasutusel. Soojusenergia vajadus kütteks ja nõuetekohase ventilatsiooni tagamiseks saadakse vastava rekonstrueerimispaketi soojuskadude arvutustest.

12 Rekonstrueerimise mõju elanike maksekoormusele

Rekonstrueerimispakettides tuleb maksumust arvestada üldehitustööde puhul ühiku kuluna (m^2 , m^3 , jm, tk) tööde pakettide kohta. Tehnosüsteemide puhul tuleb soovitada samuti sidumist ühiku kuluna, kuid kui see võimalik pole, siis tööde alaliikide kaupa ühendada tööde komplektina. Kogu rekonstrueerimismaksumuse juures ei tohi unustada ka kaasnevaid kulusid, milleks on projekteerimine ja järelevalve.

Hoone rekonstrueerimispakettide puhul teha lihttasuvusaja arvutus, kasutades energia hinna arvutamisel hetkel kehtivat energiakululiigi hinda.

Elanike maksekoormuse arvutamisel saab kasutada näiteks pankade laenukalkulaatoreid annuiteedi maksete määramisel.

Auditis tuleb kindlasti näidata maksekoormuse muutus elamispinna ruutmeetritele, arvestades laenu teenindamiseks tehtavaid kulutusi ja energiasäästuga meetmetega saavutatavat ekspluatatsioonikulutuste vähenemist.

13 Taastuvenergia kasutamine

Taastuvenergia kasutamisel tuleb lähtuda pakettides põhimõttest, et esmane on hoone püsimise, tervisliku sisekliima tagamine ja soojuskadude vähendamine ning seejärel lokaalse taastuvenergia tootmine. Taastuvenergia kasutamine peaks energiaauditites sisalduma viimases pakettis kui täiendav energiasäästu meede, mis võimaldab saavutada paremat energiatõhususklassi. Päikese soojuse ning päikese toodetud elektrienergia arvutused tuleks teha määruse MTMm 58 [13] juhiste järgi.

14 Auditi aruande koostamine ja tulemuste tutvustamine

Energiaauditi aruanne on dokument, kus audiitor võtab kokku elamuga seonduvad olulised andmed, annab ülevaate energiatarbimisest ja sisekliima olukorrast. Auditi kõige olulisem osa on elamu praeguse olukorra analüüs ja sellest tulenev rekonstrueerimise vajadus ja võimalused. Energiaauditi aruanne peab olema koostatud selliselt, et see on loetav, vastuoludeta ning erialaspetsialistile arusaadav ja üheselt mõistetav. Lisaks peavad energiaauditi aruandes esitatud meetmete paketid ja muud üldised soovitused olema vormistatud selliselt, et need oleksid mõistetavad ka spetsiifilisi teadmisi mitteomavale isikule. Sellegipoolest jääb energiaauditi aruanne tehniliseks dokumendiks, mille sisu vajab lahtiseletamist ja kommenteerimist. Sageli on energiaaudiitor oodatud korteriühistu üldkoosolekule, kus tema ülesandeks on energiaauditi tulemuste tutvustamine. Peale hinnangut elamu tehnilisele seisundile ja sisekliima olukorrale huvitab elanikke esmajärjekorras rekonstrueerimise rahaline pool. Energiaaudiitor peab olema valmis tutvustama SA KredEx või mõne muu institutsiooni pakutavate rekonstrueerimistoetuste saamise tingimusi ja selgitama, kuidas toetused on seotud tema poolt välja pakutud rekonstrueerimispakettidega. Kõnealuse elamu seisukorra ja analoogilise juba rekonstrueeritud elamu energiatarbimise ja maksekoormuse võrdlus aitab selgitada konkreetse näite varal elanike maksekoormuse tegelikku muutumist ja vähendada kahtlusi ning tõrjuvat hoiakut tervikliku rekonstrueerimise suhtes.

15 Kokkuvõte

Kvaliteetse korterelamu energiaauditi jaoks on vajalikud järgnevad komponendid:

1. Enne auditeerimisprotsessi tutvuda hoone projektdokumentatsiooniga.
2. Hoonest lähtuvalt teha ettevalmistustööd auditi koostamiseks vajaliku informatsiooni hankimiseks.
3. Tarbimisandmete võimalikult detailse info hankimine, mis võimaldaks eraldada, kütteks, tarbevee soojendamiseks, soojavee tsirkulatsiooniks ja trassikadudeks mineva energia hulka ning arvestada võimalikult täpselt seadmete ja valgustuseks kuluva elektrienergia kogust, unustamata ka tarvitatava gaasi kogust tarbevee ning/või sõõgitegemise energiana.
4. Hoonete piirdetarindite võimalikult täpne soojusläbivuste määratlemine.
5. Hinnata sisekliimat ja/ hoone keskmist õhuvahetust.
6. Hinnata võimalikult täpselt hoone vabasoojusi.

Juhul kui hoone olemasoleva olukorra arvutuslik energiabilanss on vale, ei ole usaldusväärsed ka hoonete koostatud rekonstrueerimispaketid.

Hoonete energiaauditi juhendit tuleb vaadelda koos selles viidatud määruste ning standarditega.

16 Kasutatud kirjandus

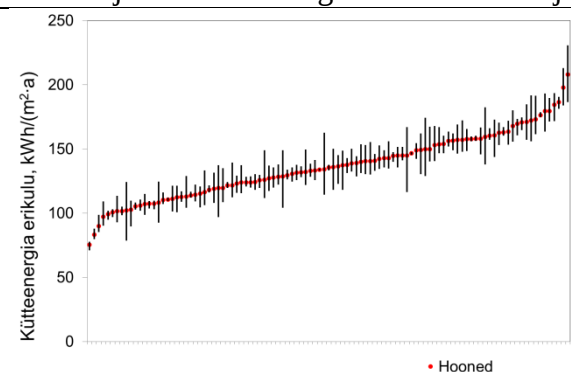
- 1 Professor Targo Kalamehe materjalid.
- 2 Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.-A., Liias, R., Kallavus, U., Mikli, L., Lehtla, A., Kodi, G., Luman, A., Arumägi, E., Mironova, J., Peetrimägi, L., Korpen, M., Männiste, L., Murman, P., Hamburg, A., Tali, M., Seinre, E. (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga: uuringu lõppraport. Tallinna Tehnikaülikool.
- 3 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.
- 4 Paap, L., Hamburg, A., Hamburg, P., Kallavus, U., Peetrimägi, L. (2010). Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikaline olukord. Tallinna Tehnikakõrgkool.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Ilomets, S., Mikola, A., Link, S. (2014). Sõpruse pst 244 korterelamu renoveerimisjärgne uuring. Tallinna Tehnikaülikool.
- 8 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 energiaaudititele. Tallinna Tehnikaülikool.

Korterelamute energiaauditite koostamise juhend

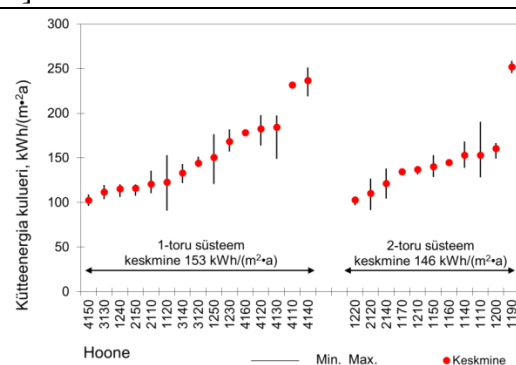
- 9 Kalamees, T., Thalfeldt, T., Meos, H., Laas, M., Zelenski, M., Kurnitski, J., Diligentov, E., Bõkova, L. Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejoonised ja tüüp korterite ventilatsioonilahendused. TTÜ, 2015.
- 10 Kõiv, T.-A., Rant, A. Hoonete küte. TTÜ kirjastus, 2013.
- 11 EVS-EN 13187:2001 Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method. Eesti Standardikeskus.
- 12 EVS-EN ISO 13788:2012 Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisise kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid. Eesti Standardikeskus.
- 13 EVS 908-1:2010 „Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire”.
- 14 EVS-EN ISO 13370:2008 „Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid”.
- 15 EVS-EN ISO 10211:2008 „Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid”.
- 16 Majandus ja taristuministri määrus nr. 58 Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika (01.07.2015)
- 17 Ilomets, S., Kuusk, K., Paap, L., Arumägi, E., Kalamees, T. (2015). Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. Journal of Civil Engineering and Management.
- 18 Kuusk, K., Kalamees, T. Retrofit cost-effectiveness: Estonian apartment buildings. Building Research & Information (2015).
- 19 Majandus ja taristuministri määrus nr. 55 Hoone energiatõhususe miinimumnõuded (01.07.2015)
- 20 EVS-EN ISO 9972 Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhupidavuse määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod. Eesti Standardikeskus.
- 21 EVS-EN 15239:2007 Hoonete ventilatsioon. Hoonete energiakasutus. Juhised ventilatsioonisüsteemide kontrollimiseks. Eesti Standardikeskus.
- 22 EVS-EN 12599:2012 Ventilation for buildings – Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems. Eesti Standardikeskus.
- 23 EVS-EN 12831:2003 Hoonete küttesüsteemid. Arvutusliku küttekoormuse arvutusmeetodid. Eesti standardikeskus.
- 24 EVS-EN 15251:2007 Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Eesti Standardikeskus.
- 25 Kuusk, K. (2015) Integrated cost optimal renovation of apartment buildings toward nearly zero-energy buildings. Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool.
- 26 <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>

LISA 1 Kortermajade kütte, sooja tarbevee ja elektrienergia erikulu

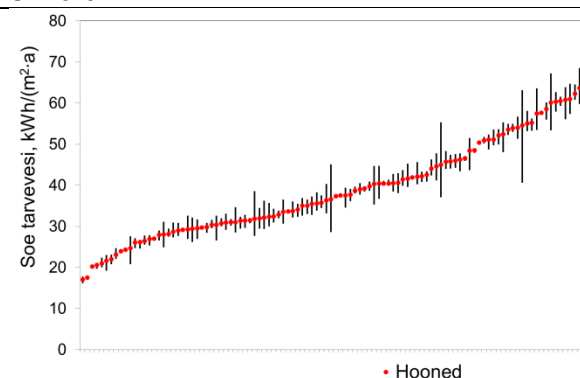
Erikulu jaotumine uuringutes osalenud majades [25].



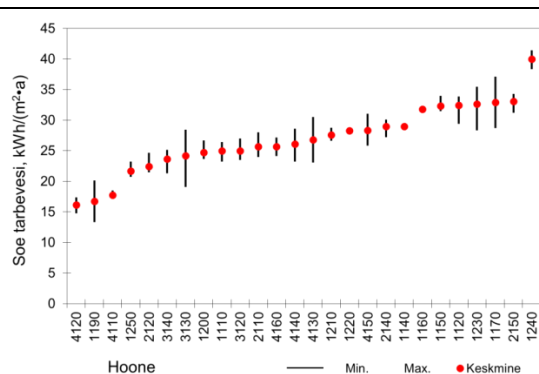
Graafik 1. Suurpaneelilamute kütteenenergia erikulu



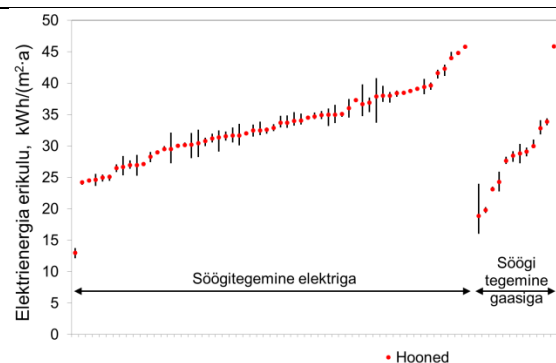
Graafik 2. Telliselamute kütteenenergia erikulu



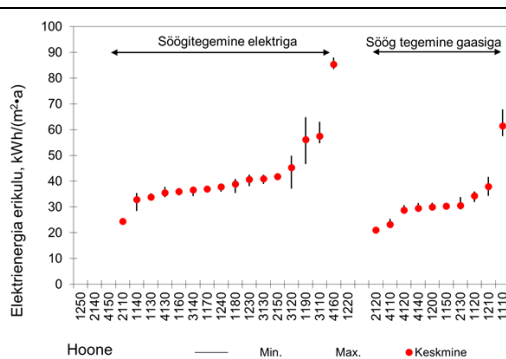
Graafik 3. Suurpaneelilamute sooja tarbevee energia erikulu



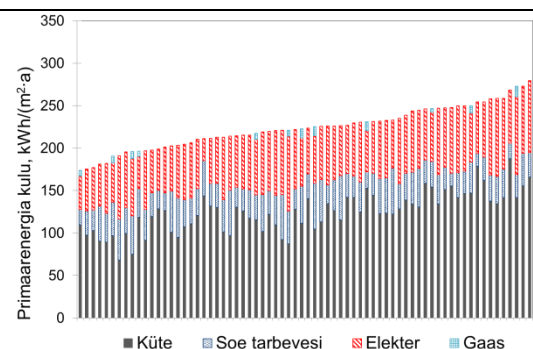
Graafik 4. Telliselamute sooja tarbevee energia erikulu



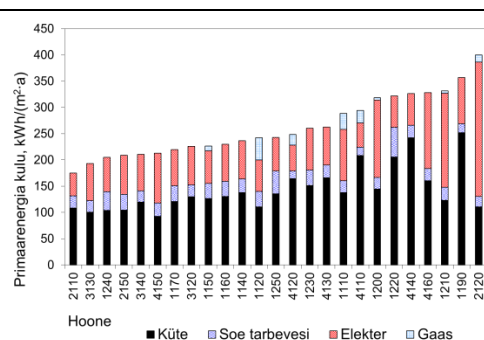
Graafik 5. Suurpaneelilamute elektrienergia erikulu



Graafik 6. Telliselamute sooja tarbevee elektrienergia erikulu



Graafik 7. Suurpaneelilamute primaarenergia kulu



Graafik 8. Telliselamute primaarenergia kulu

LISA 2 Temperatuuri parandusteguri sõltuvus sokli ja torustiku soojustusest

Tabel 12. Temperatuuri parandusteguri sõltuvus sokli ja torustiku soojustusest, kui keldrilae soojusjuhtivus on 1,4 W/(m²·K)

Nimetus	Tähis	Ühik	A	B	C	C1	C2	C3	A1	A2
Kirjeldus			Sokkel soojustamata	Sokkel ja keldrisein soojustatud	Soojustatud sokkel, keldri sein soojustamata, erinevalt soojustatud torud				Sokkel soojustamata, erinevalt soojustatud torud	
Toru isolatsiooni välisläbimõõt ¹	d _e	m	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,066	0,1	0,066
Välispinna soojusülekannekoefitsient	α _e	W/(m ² ·K)	18	18	18	14	28	36	28	37
Soojusisolatsiooni paksus keldri seinas	d _{pi}	m		0,15						
Keldriseina soojusläbivus	U _{bw}	W/(m ² ·K)	0,65	0,16	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Keldri põranda soojusläbivus	U _{bf}	W/(m ² ·K)	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Sokli seina soojusläbivus	U _w	W/(m ² ·K)	1,02	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	1,02	1,02
Külmasildade soojuserikadu keldris	ΣΨ _{l,i}	W/K	37,9	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Torustiku jooksva meetri kadu	Φ _p	W/m	8,0	7,5	7,7	6,5	17,6	13,4	18,3	13,9
Torustikes eralduv soojushulk ²	Φ _{tor}	W	2162	2025	2084	1759	4794	3654	4966	3778
Keldri temperatuur	t _k	°C	14,6	16,5	15,7	15,5	17,2	16,4	16,3	15,5
Temperatuuri vähendustegur	f		0,34	0,24	0,29	0,30	0,20	0,25	0,25	0,30
Parandusteguriga keldrilae soojusläbivus	fU _{k,lagi,j}	W/(m ² ·K)	0,48	0,34	0,40	0,42	0,28	0,34	0,36	0,42
Aastane torustike soojuskadu	Q _{tor}	kWh/a	18941	17740	18256	15411	41991	32007	43506	33095
Torustiku soojuserikadu kõetavale pinnale	Q _{eri}	kWh/(m ² ·a)	5,9	5,5	5,7	4,8	13,1	10,0	13,6	10,3

¹ Toru välisläbimõõt ilma isolatsioonita on 40 mm, A; B; C; C1; C3; A2 on isolatsiooni erisoojusjuhtivus 0,04 W/(m·K) ning C2 ja A1 on isolatsiooni erisoojusjuhtivus 0,1 W/(m·K), mis peaks iseloomustama vanemaid torustikke.

² Torustiku pikkuseks on arvestatud 272 m ning torus voolava vee temperatuuriks on 45 °C

Mõlema tabeli arvutused on tehtud olukorrale, kui sokliseina kõrgus on 1 m ja keldriseina sügavus 1,2 m ning keldri õhuvahetus on 0,2 1/h.

Tabel 13. Temperatuuri parandusteguri sõltuvus sokli ja torustiku soojustusest, kui keldrilae soojusjuhtivus on $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Nimetus	Tähis	Ühik	A	B	C	C1	C2	C3	A1	A2
Kirjeldus			Sokkel soojustamata	Sokkel ja keldrisein soojustatud	Soojustatud sokkel, keldri sein soojustamata, erinevalt soojustatud torud				Sokkel soojustamata, erinevalt soojustatud torud	
Toru isolatsiooni välisläbimõõt ¹	d_e	m	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,066	0,1	0,066
Välispinna soojusülekanne tegur	α_e	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	16	18	19	14	28	37	28	38
Soojusisolatsiooni paksus keldri seinas	d_{pi}	m		0,15						
Keldriseina soojusläbivus	U_{bw}	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,67	0,17	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Keldri põranda soojusläbivus	U_{bf}	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Sokli seina soojusläbivus	U_w	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	1,02	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	1,02	1,02
Külmasildade soojuserikadu keldris	$\Sigma \Psi_{l_i}$	W/K	37,9	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Torustiku jooksva meetri kadu	Φ_p	W/m	6,9	8,0	8,2	6,9	18,0	13,8	18,8	14,3
Torustikes eralduv soojushulk ²	Φ_{tor}	W	1886	2162	2227	1876	4894	3754	5095	3898
Keldri temperatuur	t_k	°C	13,2	15,7	14,7	14,4	16,7	15,7	15,6	14,6
Temperatuuri vähendustegur	f		0,42	0,29	0,34	0,35	0,23	0,29	0,29	0,35
Parandusteguriga keldrilae soojusläbivus	$fU_{k,lagi,j}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,41	0,28	0,33	0,35	0,23	0,28	0,29	0,34
Aastane torustike soojuskadu	Q_{tor}	kWh/a	16520	18943	19508	16432	42869	32888	44629	34144
Torustiku soojuserikadu kõetavale pinnale	Q_{eri}	kWh/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)	5,2	5,9	6,1	5,1	13,4	10,3	13,9	10,7

¹ Toru välisläbimõõt ilma isolatsioonita on 40 mm, A; B; C; C1; C3; A2 on isolatsiooni erisoojusjuhtivus $0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ning C2 ja A1 on isolatsiooni erisoojusjuhtivus $0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, mis peaks iseloomustama vanemaid torustikke.

² Torustiku pikkuseks on arvestatud 272 m ning torus voolava vee temperatuuriks on 45 °C