

Töövõtuleping nr 10020

JÕHVI, TOILA JA MÄETAGUSE VALLA ÜHISE ENERGIASÄÄSTLIKU ARENGU KAVANDAMINE



TÜÜPSED SISEKLIIMA JA ENERGIATÕHUSUSE MEETMED. PASSIIVMAJA KONTSEPTSIOON

**Tallinn, Jõhvi, Toila, Mäetaguse
2010-2011**

1 Eessõna

Hoonete energiakulu sõltub oluliselt sisekliima teguritest (temperatuur, ventilatsioon, valgustus) ning sealhulgas hoone tehnosüsteemide lahendusest, tehnilisest tasemest ning kasutamisest inimese poolt. Sisekliima mõjutab hoone kasutajate tervist, töö tootlikkust ning mugavust.

Teisest küljest mõjutab hoone energiakasutust hoone väliskarbi ja tehnosüsteemide tehniline seisukord. Näitena toome siinkohal välja enne 1990-ndaid püstitatud eluhoonete iseloomulikud puudused:

- väliskarbi (seinte, uste, akende, katuse/lae ja põranda) suur soojusjuhtivustegur (halb soojusisolatsioon);
- nn "külmasildade" olemasolu (nt vahelagede paneelid jätkuvad rõdude põrandatena);
- väliskarbi ebapiisav tuulepidavus (vuukide ja aknaümbruste läbipuhutavus);
- mõnel pool veel säilinud ejektor-segistiga soojussõlmed on halvasti automatiseeritavad, küttevee temperatuuri automaatreguleerimise süsteem on enamikul juhtudel välja ehitamata; soojussõlme hüdrauliline süsteem tingib tavaliselt ruumide ülekütmist kevadeti ja sügiseti, kui välisõhu temperatuur on suhteliselt kõrge (katlamajadest väljastatava küttevee temperatuuri ei saa sel juhul alandada, kuna vastasel korral ei ole tagatud sooja tarbevee kuumutamine vajaliku temperatuurini);
- küttesüsteemi vähene automatiseerimise tase, üldreeglina puudus reguleerimisvõimalus kohapeal, s.o köetavas ruumis;
- küttevee jaotussüsteem on välja ehitatud kõige sagedamini nn "ühetoru-süsteemina", sisuliselt see tähendab radiaatorite järjestikühendust ühe püstiku ulatuses, selline süsteem on halvasti reguleeritav, paljudel juhtudel lisandub siia veel elanike omavoliline küttesüsteemi ümberehitamine (radiaatorite küttepinna suurendamine), mis teravdab reguleerimisprobleeme veelgi;
- küttevee jaotussüsteem on enamikel juhtudel tasakaalustamata, mis sisuliselt tähendab osade korterite või ruumide ülekütmist ja teiste alakütmist. Nii üle- kui alakütmine esineb väga sageli püstikute kaupa, kusjuures hoone soojussõlmest kaugemal asuvate püstikute varustusel paiknevad korterid võivad osutada alaköetuteks, võrrelduna korteritega, mida toidavad soojussõlme lähedal asuvad püstikud (jaotustorud);
- olemasolev loomuliku või sundventilatsiooniga õhuvahetussüsteem (köögis ja vannitoas) ei ole üldjuhul tehnilis-majanduslikult vastuvõetava investeeringuga sobiv ventilatsiooniõhu soojuse tagastamiseks (utiliseerimiseks).

Hoone eri osade renoveerimiseks on võimalik kasutada mitmeid erinevaid lahendusi. Käesolev töö vaatleb lahendusi põhimõtte tasandil ega anna detailset ülevaadet sõlmede lahendusest. Kõik töödega kaasnevad üksikdetailid tuleb lahendada projektiga vastavalt olukorrale. Töö eesmärgiks on lühidalt tutvustada tüüpeid ja kaasaegseid võimalusi ning mõningal määral ka uuenduslikke lähenemisi hoonete energiatõhusamaks muutmisel.

2 Sisukord

1	Eessõna.....	2
2	Sisukord.....	3
3	Sisekliima.....	5
4	Eluhoonete energiasäästumeetmetest üldiselt	7
5	Piirete soojustamine	9
5.1	Katus.....	9
5.2	Seinad.....	11
5.2.1	Vahetu krohv-soojustus.....	12
5.2.2	Vooder-soojustus.....	13
5.3	Keldrilagi.....	15
5.4	Aknad, rõduuksed.....	15
5.5	Rõduplaadid	16
6	Küte ja soe tarbevesi.	18
6.1	Soojussõlm	18
6.2	Katlamajad	19
6.2.1	Katlad	19
6.2.1.1	Katla renoveerimine või täiesti uus süsteem?	21
6.2.2	Põletid.....	22
6.2.3	Katlamaja tõhusa käidu kindlustamise meetmed	24
6.2.3.1	Suitsugaaside analüüs	24
6.2.3.2	Hooldus	24
6.2.3.2.1	Malmkatelde puhastamine.....	25
6.2.3.3	Isoleerimine.....	25
6.2.3.4	Jääksoojuse taaskasutamise potentsiaal	25
6.2.3.4.1	Jääksoojuse taaskasutamine gaasikatlamajades.....	26
6.2.4	Kondensaatkatlad	27
6.3	Radiaator/konvektor vesiküttesüsteem.....	27
6.4	Kolmetorusüsteem.....	30
6.5	Küttesüsteemi hüdrauliline tasakaalustamine	31
6.6	Küttekulujaoturite kasutamine	33
6.7	Soojusväljastuse reguleerimine hoone soojussõlmes.	33
6.8	Hoone eri osade eraldi reguleerimine.....	35

7	Ventilatsioon	36
7.1.1	Ühine sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem	38
7.1.2	Lokaalne sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem	40
8	Alternatiivsed lahendused soojusvarustuses	42
8.1	Päikesekollektorid hoonete soojusvarustuses.....	42
8.1.1	Soojuspumbad hoonete küttesüsteemis	45
8.1.2	Ventilatsiooniõhu kasutamine hoonete kütteks soojuspumpade abil	46
8.1.2.1	Maasoojuspump	46
8.1.2.2	Õhk-vesi soojuspump.....	46
9	Hooneautomaatika.....	48
10	Passiivmaja kontseptsioon.....	49

3 Sisekliima

Eesti Vabariigi on soovitatav sisekliima parameetrite määramiseks kasutada standardit EVS-EN 15251:2007 „Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast.“

Sisekliima kvaliteedi tasemeid on erinevaid ning üks võimalikke klassifikatsioone koos lühikirjeldusega on toodud järgnevalt:

Tabel 3.1 Sisekliima klasside kirjeldus.

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatav ruumides, kus viibivad väga tundlikud nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nt puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed.
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes.
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.

Standardis EVS-EN 15251:2007 on ära toodud erinevate sisekliimat mõjutavate tegurite ning soovituslike sisekliima parameetrite väärtused. Siinkohal toome illustratsiooniks mõned neist.

Tabel 3.2 Näited soovituslikest CO₂ kontsentratsioonidest esitatult üle välisõhu kontsentratsiooni.

Sisekliima klass	Vastav CO ₂ kontsentratsioon üle välisõhu taseme, väljendatuna ppm-des (miljondikosades)
I	350
II	500
III	800

Süsihappegaas (CO₂) on üldtunnustatud inimtegevusest (metabolismist) tingitud saaste indikaatoriks. Soovituslikult¹ võiks CO₂ kontsentratsioon jääda alla **1200 ppm**. Maailma tervishoiuorganisatsiooni (WHO) soovitusel ei tohi CO₂ tase ületada siseruumides **1000 ppm** taset.² Üle 1500 ppm näitab, et ruumiõhk on inimtegevusest liigselt saastunud. Euroopa Liidu standardi EVS-EN 13779:2007 ja EVS-EN 15251:2007 kohaselt loetakse uute hoonete korral ruumiõhus lubatud maksimaalseks CO₂ väärtuseks välisõhu kontsentratsioonist minimaalselt kuni 800 ppm kõrgemat kontsentratsiooni. Välisõhu CO₂ kontsentratsioon on üldjuhul suurusjärgus 350...400 ppm. Vastavalt EL standarditele võiks lugeda aktsepteeritavaks CO₂ sisalduseks mitte üle 400+800= **1200 ppm**.

¹ Classification of Indoor Climate 2000. Target Values, Design Guidance and Product Requirements. FiSAQ publication 5 E. Espoo, Finland 2001

² E. Abel, A. Elmroth. Buildings and Energy – a systematic approach. Formas, 2007.

Tabel 3.3 Näited eluhoone ventilatsiooni õhuvooluhulkadest ventilatsioonisüsteemide püsiva töö juures ruumide kasutusaegadel.

Sisekliima klass	Õhuvahetuse määr ^a		Elutuba ja magamistoad, peamiselt välisõhu sissepuhe		Väljatõmbeõhu vooluhulk, l/s		
	$l/(s \cdot m^2)$	1/h	$l/(s \cdot in)$	$l/(s \cdot m^2)$	Köögid	Vanni-toad	Tualett-ruumid
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

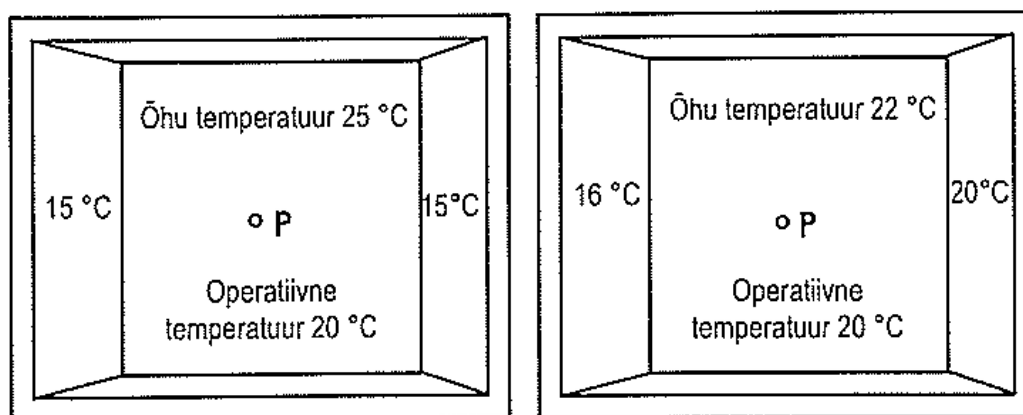
^a – õhuvahetuse määrad, väljendatud $l/(s \cdot m^2)$ ja 1/h on teineteisele vastavad, kui ruumi kõrgus on 2,5 m.

Standardis tuuakse ära ka sisetemperatuurid kütteks ja jahutuseks erinevatele hoonetele ja ruumidele. Näitena on toodud ära eluhoonete eluruumide temperatuurivahemikud kütteks, vt Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Eluhoonete (magamistoad, elutoad jne) temperatuurivahemikud kütteks energiaarvutuses.

Sisekliima klass	Temperatuurivahemik, °C
I	21,0-25,0
II	20,0-25,0
III	18,0-25,0

Siiski ei saa sisekliimat mõõta ainult siseõhutemperatuuri järgi. Tuntakse sellist mõistet nagu **operatiivne temperatuur** (vt ka Joonis 3.1), mis arvestab inimese soojuslevi kiirguse ja konveksiooni koosmõju ja on kujuteldav ümbritseva keskkonna ühesugune temperatuur, mille korral inimese kiirguslik ja konvektiivne soojusvahetus ümbritseva keskkonnaga on võrdne tegeliku olukorra kiirgusliku ja konvektiivse soojusvahetusega. Seega võtab operatiivne temperatuur arvesse olukorra, kus inimest ümbritsevate pindade temperatuur erineb oluliselt ruumiõhu temperatuurist (nt külm aknasisepind talvel).

**Joonis 3.1. Operatiivse temperatuuri näited.³**

Lisaks siseõhukvaliteedi väärtustele leiab määrusest ja soovitusliike arväärtusi hoonetes lubatud müra- ja valgustustiheduste tasemete kohta.

³ O. Seppänen, M. Seppänen. Hoone sisekliima kujundamine. Tallinn, Koolibri, 1998.

4 Eluhoonete energiasäästumeetmetest üldiselt

Olulisemad säästumeetmed eluhoonetes olgu siinkohal loetletud järgnevalt:

- automatiseeritud soojuskeskuste (soojussõlmede) paigaldamine hoonete kütmiseks. Need soojuskeskused võimaldavad hüdrauliliselt eraldada kaugküttevõrgu ja maja küttesüsteemi, soojus kantakse üle maja küttesüsteemis ringlevale veele soojusvahetites;
- hoone väliskarbi soojustamine (välisseinte, katuse/lae täiendav isoleerimine);
- paneelidevaheliste vuukide, akende ja uste tihendamine või asendamine, kolmanda klaasi lisamine aknale jne.
- sooja tarbevee ettevalmistamise süsteemi korrastamine (ringluse korraldamine, automaatreguleerimine, vanade sektsioontüüpi soojusvahetite asendamine kaasaegsete soojusvahetitega);
- nn ühetorusüsteemi ümberehitamine reguleeritavaks või kahetorusüsteemiks;
- küttesüsteemi tasakaalustamine;
- termostaatventiilide paigaldamine radiaatoritele;
- korterite individuaalsete soojusarvestussüsteemi sisseseadmine (loob eeldused ja motivatsiooni energiasäästuks toatemperatuuri optimeerimise kaudu küttekehade soojusväljastuse reguleerimise läbi elanike poolt, kui on tagatud küttekehade soojusväljastuse reguleerimise võimalus termostaatventiilidega). Mõnel majal võib puududa ka soojusarvesti, mis tuleks ka kindlasti paigaldada.

Elamutes rakendatavate energiasäästumeetmete efektiivsus sõltub paljuski sellest, kui võrd halb või hea oli olukord hoones enne vastava meetme rakendamist, aga samuti ka rakendatud meetmete otstarbekusest ja tehnilisest teostatusest. Seetõttu on küllalt riskantne anda väga üldistatud kujul kas või näiteks %-na iga meetme rakendamisel saadav efekt ja asja tundev spetsialist tavaliselt hoidub prognoosist, milline antakse enne objekti nägemata. Samas on teada, et paljud vastavaid seadmeid müüvad firmad püüavad näidata oma pakutavat kaupa võimalikult soodsas valguses ja pakuvad *a priori* väga suure säästuvõimaluse, mis hiljem tavaliselt peale seadme paigaldamist (süsteemi korrastamist) osutub tunduvalt väiksemaks.

Säästumeetmete efektiivsuse hindamiseks kasutatakse kõige sagedamini lihttasuvusaja arvutamist ligikaudsete meetodite alusel. Kui säästumeetmete rakendamiseks on vaja suuri investeeringuid, on soovitatav investeeringute tasuvuse kontrollimiseks kasutada keerulisemat matemaatilist analüüsi. Arvutatakse nii sisemine tulunorm IRR (%), tasuvusaja diskonteeritud rahavoogude alusel, tulu nüüdisväärtus NPV (kr) ja tehakse ka tundlikkuse analüüs.

Energiasäästu võimaluste väljaselgitamiseks on soovitatav kasutada sõltumatute konsultantide, konsultatsioonifirmade või ekspertide abi, seadmete müügiga tegelevate firmade soovitusel võivad olla erapoolikud ja lähtuda soovist võimalikult rohkem müüa oma firma poolt pakutavat kaupa. Väga paljudel juhtudel on seadmeid pakkuvad firmad Eestis olnud huvitatud sellest, et näidata seadmete rakendamisest saadavat energiasäästu võimalikult suuremana, ületades sealjuures nii mõnigi kord isegi teoreetiliselt võimaliku säästu piiri.

Suuremahuliste energiasäästuprojektide korral on vajalikud tõsised eeluuringud koos tasuvusarvutustega, selgitamaks ühe või teise energiasäästu meetme perspektiivi ja otstarbekust antud konkreetses situatsioonis.

Edukad energiasäästu projektid vajavad laialdast tutvustamist ärgitamaks soovi neid korrata mõnes teises kohas. Samas aga lihtne korratavus (järeletegemine) peab olema

argumenteeritud (hoolikalt kontrollitud). Energiasäästu meetmed, millised ühes hoones (asutuses) võivad olla majanduslikult tasuvad ja õigustatud, ei pruugi seda olla mõnes teises hoones (asutuses või ettevõttes), kuna tehnilised tingimused, energiatarbimise tase (vajadus) ning majanduslik olukord võivad olla teistsugused.

Mõnede Eesti teostatud näidisprojektide tulemustega on võimalik tutvuda KredEx'i kodulehele www.kredex.ee.

5 Piirete soojustamine

5.1 Katus

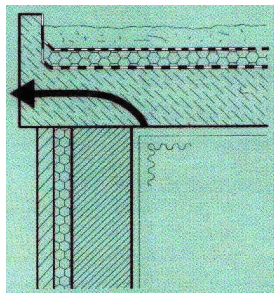
Eesti tingimustes on hoone üheks kestvuse tagamise garantiiks korralik ja vettpidav katus koos hästi toimiva vee-eemaldussüsteemiga. Peale veepidavuse on katuslagede korral väga oluline ka nende piisav soojustakistus. Mitmekorruselised elamud on ehitatud valdavalt lamekatusega, kuid esineb ka viilkatuseid.

Enamikel hoonetel on lamekatuste või katuslagede või pööningu põranda soojuslähikandegur 4-5 korda suurem kui on tänapäevased soovitud ja seega vajavad lisasoojustamist. Vanade (nõukogudeaegsete) hoonete katuse U-arvud on enamasti vahemikus **0,7-1,2 W/(m²K)**. Tänapäeval soovitatakse katuste U-aruks mitte üle **0,15-0,2 W/(m²K)**.⁴

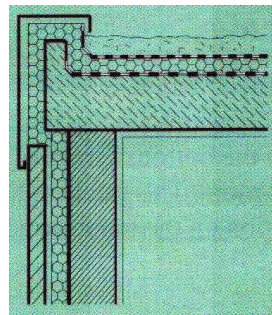
Mõned soovitud katuste kohta:

- Energiasäästust lähtudes, tuleks remondi käigus tingimata paigaldada lisasoojustus ja viia katuslae või ka mittekõetava pööningu põranda soojuslähikandegur tänapäeval soovitatava väärtuseni.
- Vanale katusekattele uue kihi pealekleepimine on ajutine hädaabinõu.

Lisasoojustamise üks põhjusi tuleneb ka ennekõike vajadusest vähendada külmasildade mõju katuse ja välisseina liitekohas ning katuse paneelide toetuskohtade juures. Just külmasildade likvideerimise seisukohast oleks mõistlik hallituseprobleemidega hoonetes katused lisasoojustada isegi kui katusekate on korralik. Seejuures peaks lisasoojustus katma ka parapeti, vastasel juhul säilib külmasild läbi parapetipaneeli, vt ka Joonis 5.1 ja Joonis 5.2.



Katuse parapett ei ole isoleeritud. Seega toimib katus kui külmasild perimeetri ulatuses ja võib esineda ülemiste korruste lagede nurkades kondenseerumist. Samuti võib esineda pragunemist tänu temperatuuride erinevusest tingitud katusekonstruktsioonide soojuspaismisele/kahanemisele



Sein ja katusekonstruktsioon on kaitstud välise soojustamisega. Külmasild katuse osas on eemaldatud ja ei ole enam kondenseerumise ohtu.

Joonis 5.1 Katuse ja seina liitekoha külmasild.⁵

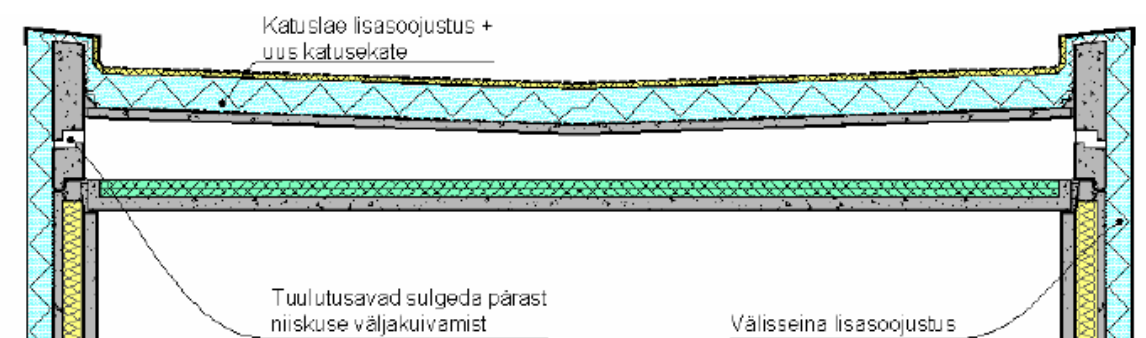
⁴ Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded.“

⁵ Insulation Measures for Retrofitting of Residential Buildings. A Thermie Programme Action No. B 48.



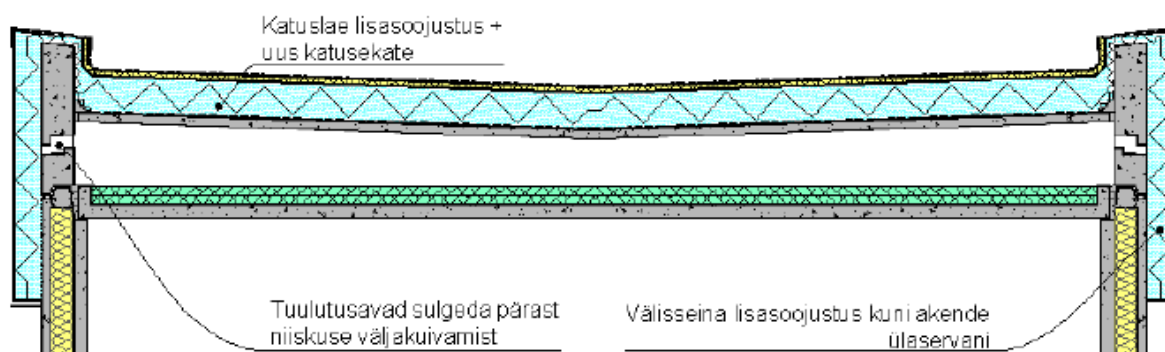
Joonis 5.2 Praktilisi näiteid katuse ja seina liitekohta soojustamisest.

Katuslae lisasoojustamist on reaalselt võimalik teha vaid lisasoojustuse paigaldamisega olemasoleva katuse peale, vana katusekatte eemaldamisega või ilma. Pärast lisasoojustamist tuleb vanad tuulutuseavad sulgeda, kuna vastasel korral satub välisõhk soojustuse alla ja soojustuse efektiivsus langeb. Lisasoojustamine ja tuulutuse sulgemine muudab katuslae niiskustehnilist toimivust: katusesse tekib mitu veeaurutihedat kihti ja kahe soojustuse vahele suur õhuruum. Katuse lisasoojustamine on mõistlik teha koos fassaadide lisasoojustamisega (vt. Joonis 5.3). Selline lahendus tagab parima lõpptulemuse.



Joonis 5.3 Katuse ja välisseina kompleksne lahendus.⁶

Väiksemate rahaliste võimaluste juures on variant soojustada esialgu hoonel ainult otsaseinad ja katus ning külgselintel piirduda katuse ja välisseina liitekohta soojustamisega (vt. Joonis 5.4).



Joonis 5.4 Katuslae ja külgselinte liitekohtade soojustamine kui külgselinte soojustamine toimub teises etapis.⁷

⁶ Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ja prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool. 2009.

Lisasoojustuse vajaliku paksuse määravad energiatõhususarvutus, katuslae niiskuse režiim ja ehitustehniliselt optimaalne lahendus. Ehitustehniliselt võib soojustuse paksuse piiriks pidada **200-250 mm**.

Lisasoojustuse paksus ja tuulutuse sulgemise lahendus peavad tagama katuse niiskustehnilise toimivuse. Kui jäetakse vana katusekate alles ja lisasoojustus tuleb selle peale, peab lisasoojustuse paksus olema selline, et vana katusekate alla ei tekiks niiskustehniliselt kriitilisi keskkonnatingimusi: ei teki veeauru kondenseerumise või hallituse kasvu ohtu. Tuulutussavade sulgemisel tuleb olla kindel, et liigniiskus (põhjustatud näiteks katuse läbijooksust) on katusest välja kuivanud. Seetõttu on soovitatav sulgeda tuulutussavad ligikaudu aasta pärast soojustustööde tegemist, kui liigne niiskus on välja kuivanud. Katusele tehtud tuulutussavasid on lihtsam sulgeda, kuna ei pea muutma fassaadi viimistlust ja tööd saab teha katusest.

Katuse tasapinna tõstmise korral tuleb tagada, et veetõkke ülespöörded korstnatele ja teistele katusest läbiviikudele oleksid vähemalt **300 mm**. Katusel paiknevaid ventilatsioonikorstnaid on võimalik laduda kõrgemaks. Madala parapeti korral võib tekkida vajadus rajada katusel liikujate, tulekustutus- ja päästemeeskonna turvalisuse tagamiseks **600 mm** kõrgune räästabarjäär.

Viilkatuste korral on otstarbekas pööningu põrand soojustada puistevillaga (**250-300 mm**). Puistevillaga soojustamisel tuleb pööningule rajada käiguteed.

5.2 Seinad

Meie praegusest elamufondist on üle 1/3 eluruumidest raudbetoon- ja gaasbetoonvälisseintega hoonetes, tellishoonetes ligi 1/3 ja ülejäänud puit- ning segakonstruktsioonide hoonetes. Nii enne II maailmasõda kui ka 1960-90-ndate aastatel ehitatud korruselamute välisseinte soojusläbikandegur U on piires **0,6 - 1,2 W/(m²K)**. Tänapäeval soovitatakse seinte U -arvuks mitte üle **0,2-0,25 W/(m²K)**.⁸

Probleemid on kahtlemata paneelidevaheliste vuukidega. Tugeva külgtuulega on täheldatud sadevete läbitungimist läbi vuukide, aga uuringud on näidanud samuti ülemäärast õhu infiltratsiooni läbi paneelide vuukide.

Halvemas olukorras on 1970-80-ndate aastatel ehitatud tellisseintega hoonete fassaadid, eriti keraamilistest kärgtellistest puhasvuuk-seinad. Mittepiisava külmakindlusega telliste kasutamine ning konstruktsioonivead rõdudelt ja lodžadelt sadevete eemalejuhtimisega koos suurte seinapindade avatusega looduslikele mõjuritele, on viinud tellis-fassaadipindade tugevate kahjustusteni. Enamikel juhtudel on täheldatud suuremaid kahjustusi lõunapoolsetel fassaadidel, kus kevadeti koguneb külmumise-sulamise tsükleid rohkem kui teistes suundades. Külmakahjustused on seotud välispinna suurenenud niiskusesisaldusega, mida on omakorda soodustanud kärgtelliste suur absorptsioonivõime. Tellispindade purunenud kohtade lappimine uute telliste sisepanekuga või erisegudega plommimisega on ajutine lahendus. Järgmiseks kevadeks on lagunenum juba uued kivid. Siin tuleb kogu fassaadi kaitsta eelkõige niiskumise eest, mida põhjustavad külgtuulega fassaadile langevad sademed. Kahtlusi tekitab ka külmakahjustusega fassaadi hüdrofoobseks muutmise tõhusus, kuna mikrokahjustused on juba tekkinud enne päris lagunemist ja nende avastamine on tülikas ning komplitseeritud, eriti kõrgete hoonete korral.

⁷ Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ja prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool. 2009.

⁸ Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded.“

Soojustusmaterjalidena võib nt kasutada mineraalvilla või polüstireeni. Lisasoojustuse paksus sõltub olemasoleva seina U-arvust ning soovitavast kokkuhoiutasemest, kuid üldjuhul peaks seina täiendava isolatsiooni paksus olema **100-150 mm**.

Eelkõige on võimalik valida kahe ehitusfüüsikaliselt erinevalt toimiva soojustusviimistlussüsteemi vahel:

- Krohvkate, mis kantakse vahetult lisasoojustusmaterjalile,
- Vooderkate, mis kinnitatakse eri kinnitussüsteemi külge (või toetatakse vundamendi laiendusele) ja soojustuse ning vooderduse vahele jäetakse tuulutusvahe.

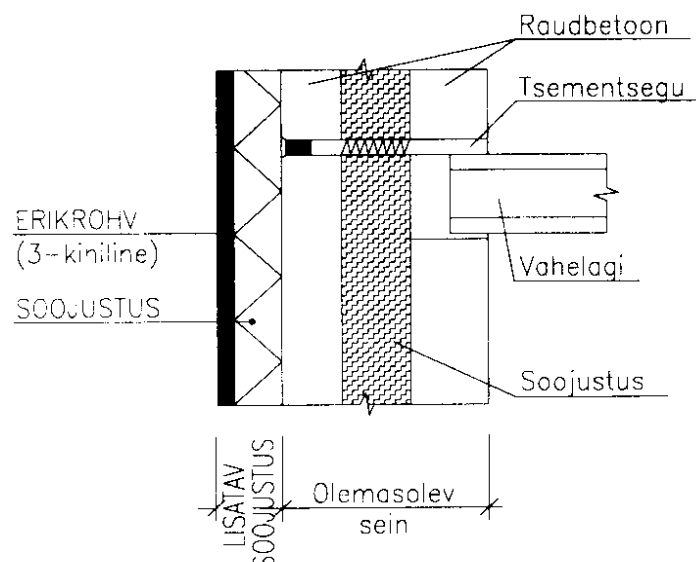
Valiku tegemisel kahe süsteemi vahel tuleb siinjuures peale arhitektuurilise kujundamise ja keskkonda sobitamise võtta arvesse lisaks rida muid asjaolusid, nagu:

- olemasoleva tarindi konstruktsioon ja erinevate materjalide paigutus selles,
- veeauru difundeerumist takistavate kihtide (aurutõkke) olemasolu,
- siseruumide valdav temperatuuri-niiskuserežiim kütteperioodil,
- kas samaaegselt tehakse ka siseremonti ja vajaduse korral on võimalik aurutõkke paigaldamine tarindi sisepoolele.

Nimetatud asjaolud võivad mõnel juhul kallutada otsuse tegemist ühe või teise süsteemi eelistamisele.

5.2.1 Vahetu krohv-soojustus

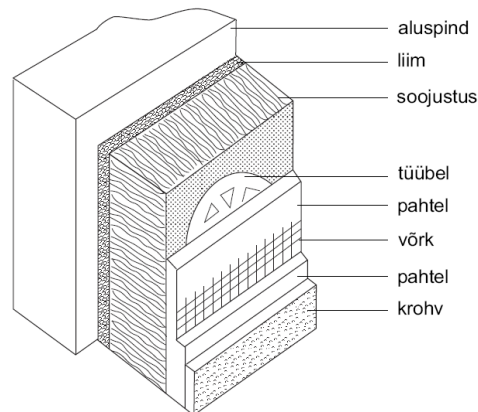
Meie ehitusturule on jõudnud tulla end tutvustama mitu erinevat krohvkatete süsteemi, mis erinevad üksteisest nii krohvimördi koostise, krohvikihi paksuse, sellest lähtuvalt armeerimiseks kasutatava krohvivõrgu tüübi ja kinnitussüsteemi poolest (viimane sõltub lisaks veel hoone kõrgusest).



Joonis 5.5 Korrusmajade seinte soojustamine, paneelide peale on paigaldatud lisasoojustuskiht ja sellele kolmekihiline krohv.⁹

⁹ Paneelmajade renoveerimisest. AX Consulting/Axovaatio Oy ja ESP Engineering. Tallinn, 1995.

Soojustussüsteemi valik tuleb teha lähtuvalt aluspinna ja materjalide omadustest. Üks võimalik variant on näidatud allpool toodud joonisel.



Joonis 5.6 Üks võimalik soojustussüsteemi näide.¹⁰

Põhjamaades hakati välisseinte lisasoojustamisel esialgu kasutama soojustuseks mineraalvillast plaate ja nende peale pandavat traditsioonilist kolmekihilist krohvkatet. Nüüdseks on kasutusel samuti polüstüreen-plaadid.

Tuleohutuse seisukohalt nõuti varasemalt, et akende perimeeter tuleb soojustada **200 mm** ulatuses kivivillaga (Joonis 5.7 vasakul), siis tänapäeval võib eraldada ka tubade ja korruste kaupa tsoonidena (Joonis 5.7 paremal), mis teeb ehitusmaksumuse odavamaks.

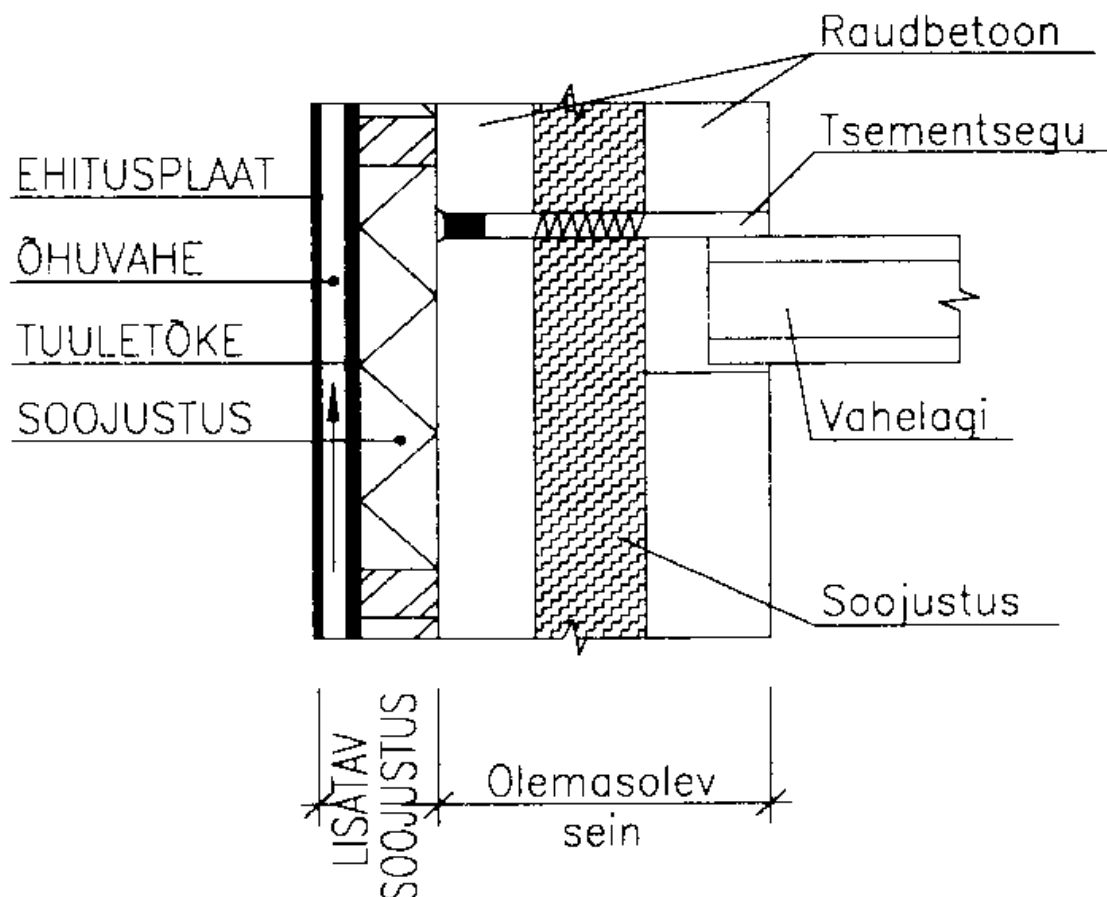


Joonis 5.7 Polüstereenplaatide paigaldamise viisid.

5.2.2 Vooder-soojustus

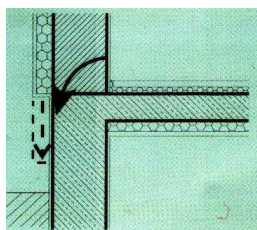
Soojustusmaterjalideks on põhiliselt samad, mis juba eespool märgitud. Kuna soojustusmaterjalid on vabad kattest tulevast koormusest, saab kasutada väiksema jäikusega plaate. Samas peab avatud poorsusega soojustusmaterjal olema tuulutuspilu poolt kaetud tuuletõkkeplaadiga, et vältida materjalis õhu konvektsiooni. Soojustusplaadid paigaldatakse tihedalt nii vastu alusseina kui ka tugilattide vahele. Vooderduse kinnitussüsteemid sõltuvad kasutatud materjalide konstruktsioonilistest iseärasustest ja võivad olla kas puidust või metallist (eriprofiilid).

¹⁰ ET-2 0404-0449. Õhekrohviga fassaadisojustuse liitsüsteemid.

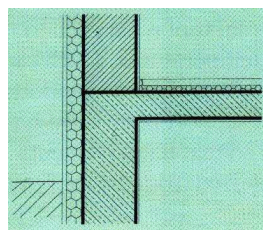


Joonis 5.8 Korrusmajade seinte soojustamine, paneelide peale on paigaldatud lisasoojustuskiht, sellele tuuletõke ja ehitusplaat ning nende vahele on jäetud õhuvähe.¹¹

Seinte soojustamisel tuleb tähelepanu pöörata seina ning sokli liitekohale (Joonis 5.9). Kui soklit ei soojustada täielikult, siis on soovitatav viia seina soojustus vähemalt **200 mm** allapoole keldrilae tasapinda.



Kui väline isolatsioon ei ole piisavalt pikalt allapoole keldri lae taset, siis tekib külmasild. Selle vältimiseks peab isolatsiooni pikendama vähemalt 200 mm allapoole keldri lae tasapinna taset.



Üks võimalus probleeme vältida on pikendada välisolatsiooni allapoole maapinda.

Joonis 5.9 Pinnalähedaste liitekohtade soojustamine.¹²

¹¹ Paneelmajade renoveerimisest. AX Consulting/Axovaatio Oy ja ESP Engineering. Tallinn, 1995.

¹² Insulation Measures for Retrofitting of Residential Buildings. A Thermie Programme Action No. B 48.

5.3 Keldrilagi

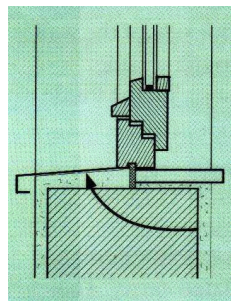
Kohtades, kus keldrilagi on suhteliselt siledapinnaline on otstarbekas kaaluda keldrilae soojustamist. Soojustamisel tuleb jälgida, et kommunikatsioonid ei jääks soojustuskihi alla. Enamasti piisab **100 mm** soojustuskihist ($\lambda=0,04 \text{ W/(mK)}$).

5.4 Aknad, rõduuksed

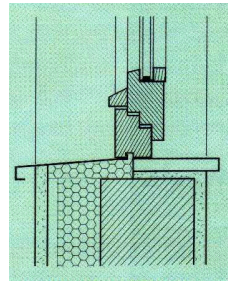
Vanade hoonete korral on akende ja seina liitekohtades külmasillad (vt Joonis 5.10). Välisseinte soojustamisel tuleb pöörata tähelepanu akna ja seina liitekoha külmasilla vähendamisele.

Võrreldes nõukogudeaegsete akendega on tänapäeval nõ energiasäästuklaasiga võimalik saavutada kolm korda madalamaid akna avatäite U-arve - ca $\leq 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

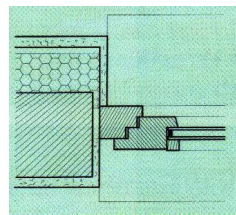
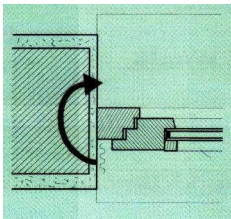
Akna avatäite U-arvu ei määra ära üksnes mitte klaaspaketi soojuslähikandetegur, vaid lisaks veel raami U-arv, klaaspaketi ja raami liitekoha külmasild ning raami ja seina kinnitus.



Tihti ilmnevad külmasillad aknaraamide ümbruses. Külmasillad võivad põhjustada kahjustusi piirnevate konstruktsioonidele ja raamidele.

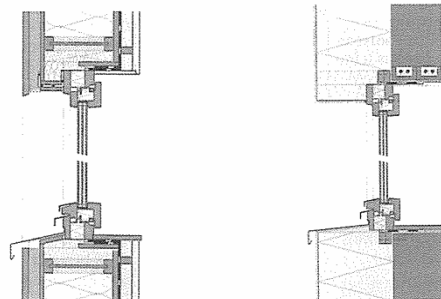


Neid probleeme saab vältida, kui isolatsioon on paigaldatud korralikult ümber akna.



Joonis 5.10 Akna külmasild.¹³

Parem, kuid kallim lahendus on tõsta aknad nõ soojustuse sisse (vt ka Joonis 5.11). Üldjuhul on seda otstarbekas teha uute hoonete rajamisel või kui olemasoleval hoonel vahetatakse välja kas enamus või kõik aknad.



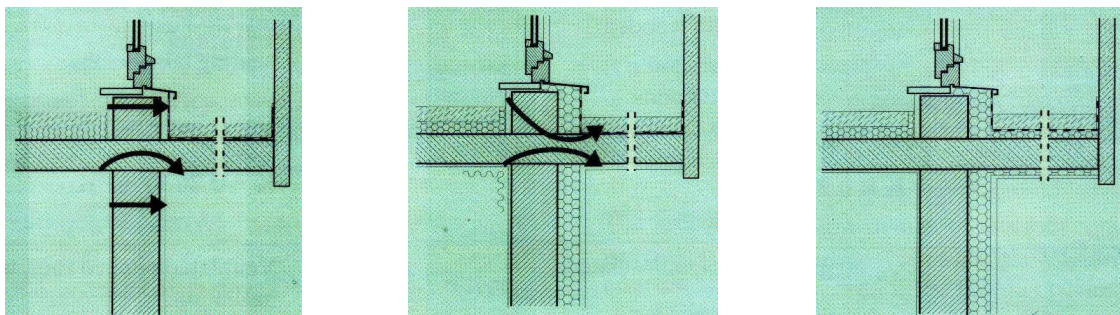
Joonis 5.11 Aken on paigaldatud soojustuse sisse.¹⁴

¹³ Insulation Measures for Retrofitting of Residential Buildings. A Thermie Programme Action No. B 48.

Akende ja rõduuste renoveerimisel peab olema tagatud õhuvahetus korteris. Selleks on soovitatav kasutada mikrotuulutust või värsketuulavasid, mille kaudu on võimalik õhuvahetust vastavalt vajadusele reguleerida. Ebatihedate rõduuste ja akende korral seda võimalust ei ole. Tänapäeval on turul saadaval ka aknaraami paigaldatavad suhtelise õhuniiskuse järgi toimivad omajõulised värsketuulupild, mis tagavad õhuvahetuse, kui suhteline õhuniiskus ületab teatud väärtust.

5.5 Rõduplaadid

Rõduplaadi ja seina liitekohad toimivad külmasildadena (Joonis 5.12).



Isoleerimata seinad põhjustavad soojuskadusid. Seda võimendab isoleerimata rõduplaadid, mis toimivad külmasillana.

Rõdu toimib ikka kui külmasild, kuna välispind on isoleerimata. Rõdu suhtes allpool oleva korteri lae ülemises nurgas võib esineda vee kondenseerumist.

Külmasild on eemaldatud, isoleerides rõduplaadi mõlemalt poolt.

Joonis 5.12 Rõduplaadi soojustamine.

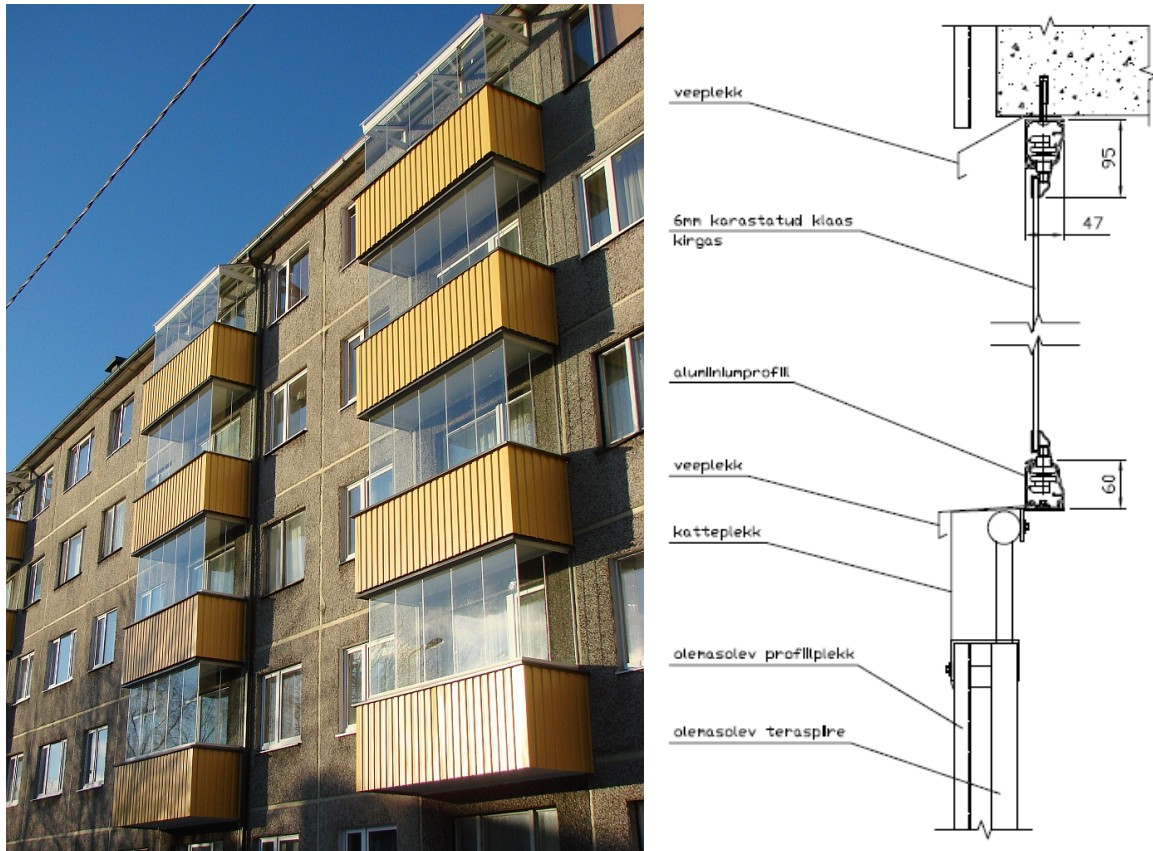
Olemasolevatest rõduplaatidest tuleneva külmasilla vältimiseks on need soovitatav mõlemalt poolt soojustada. Kuna rõduplaadid võivad olla juba amortiseerunud, st on oht nende ära kukkumiseks, siis on rõdude korral ka alternatiiviks olemasolevad rõduplaadid eemaldada ja ehitada asemele uued kergkonstruktsiooniga rõdud, kus rõduplaadi ja seina liitekohas külmasilda ei esine. Joonis 5.13 on toodud toetatud rõdud, kuid võib analoogselt ehitada uued rõdud, kus ei ole rõduplaadi ja seina liitekohas külmasilda.



Joonis 5.13 Toetatud rõdud.

¹⁴ Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoonete ehitamisel. Intelligent Energy Europe. PassiveHouse OÜ. 2009.

Väga palju esineb Eestis majasid, kus rõdud on kinni klaasitud erinevalt. Siiski, on soovitatav rõdude kinniklaasimisel järgida ühtset kujundust (Joonis 5.14). Kinniklaasimisel väheneb ilmatikumõju rõdudele.



Joonis 5.14 Rõdude klaasimine.¹⁵

Rõdude (lodžade) kasutuselevõtuga eluruumidena on esinenud olukordi, kus rõdupiirded on soojustamata, kuid ruumi kasutatakse eluruumina, mistõttu on ka õhu niiskussisaldus sama, mis eluruumides ning külmale rõdupiirdele hakkab kondenseeruma vesi ning tekib hallitus. Selliseid olukordi tuleb vältida. Ühe näitena võib tuua olukorra, kus köögi akna kaudu juhatakse niisket õhku kinniehitatud rõdule ning rõdupiiretele tekib nii hallitus kui ka talvel jää (vt Joonis 5.15).



Joonis 5.15 Kinniehitatud rõdu, kuhu juhatakse köögi akna kaudu niiske õhk.

¹⁵ Malmerk Fassaadid.

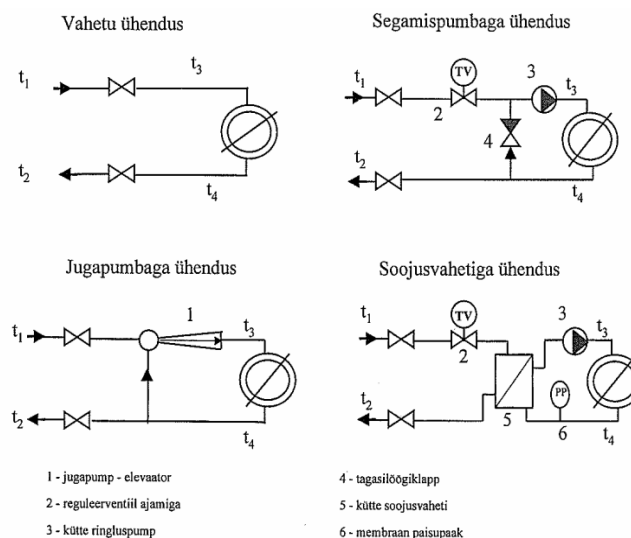
6 Küte ja soe tarbevesi.

6.1 Soojussõlm

Kaugkütte korral paikneb hoones (üldjuhul keldris) soojussõlm. Soojussõlmesid võib liigitada (vt ka Joonis 6.1):

- elevaatoriga ühendus
- vahetu ühendus
- segamispumbaga ühendus
- sõltumatu ühendus

Esimesed kaks on nn vanad ühendusviisid, kus võimalused küttesüsteemi antava vee temperatuuri reguleerimiseks puuduvad. Kaks viimast on üldjuhul varustatud automaatregulaatoritega ning seetõttu võib neid lugeda kaasaegseteks. Automaatregulaatori kasutamine võimaldab vältida võrguvee konstantsest temperatuurist tingitud ülekütmist kõrgematel välisõhutemperatuuridel. Seejuures soojuse sääst oleneb võrguvee temperatuurist. Sageli on soojussõlme automatiseerimisega kaasnev soojuse sääst 10% kandis.

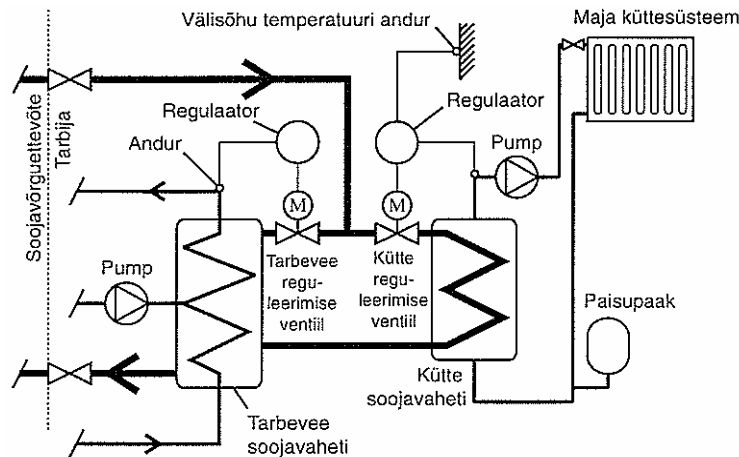


Joonis 6.1 Küttesüsteemide ühendusviisid.¹⁶

Sõltumatu ühendus on kõige sobivam tarbijale ja eelistatum soojustootjale, kuna tagasivoolu temperatuurid on sel korral madalamad.

Sageli on kaugküttel ka sooja tarbevee varustus. Sellise süsteemi põhimõtteline lahendus on toodud Joonis 6.2.

¹⁶ Hoone energiaauditorite koolitus. Tallinna Tehnikaülikool, 2008.



Joonis 6.2 Sõltumatu ühendusega soojussõlm kütte ja sooja tarbevee vajaduseks.¹⁷

Kui süsteemis on tegemist muutuvate vooluhulkadega, siis on soovitatav kasutada kas sagedusmuunduriga või ECM (*Electronically Commutated Motor*) tehnoloogial põhinevaid pumпасid. Vooluhulga muutmise vastavalt vajadusele pumba poolt aitab kokku hoida elektrit, mida tarbitakse kütteeve ringluse tagamiseks.

6.2 Katlamajad

Osade hoonete soojusvarustuse tagamisel kasutatakse enamasti kas kerge kütteeõli või gaasikatlaid.

Selles peatükis käsitletakse peamiselt maagaasil töötavate (ka õli) katlamajade põhiseadmete tõhusa ja optimaalse tööga seonduvat ning enim energia (kütuse-) säästu andvaid meetmeid.

6.2.1 Katlad

Katlamaja töö eesmärgiks on kütuse keemilise energia muundamine soojuseks nn soojuse tootmine kas kuuma vee, kuuma õli või auruna. Soojuse tootmine peab toimuma võimalikult optimaalselt ja kulu-efektiivselt. Optimaalse ja kulu-efektiivse soojuse tootmise tingimusi täidetakse kui katlal:

- on tahma- ja tõrvavabad küttepinnad ning suitsulõõrid,
- on täpselt häälestatud põleti,
- on tulekindel vooderdis (tahkekütuse katelde kolletes) peab olema nii õhuke, kui lubatud katla tootja poolt,
- on tagatud efektiivne küttepindade ja suitsugaaside kontakt,
- on küttepindu efektiivselt jahutav tsirkuleeriv vesi,
- on küttepinnad peavad kütteeve poolle olema puhtad, katlakivi- ja mudavabad,
- on katel on väljastpoolt optimaalselt isoleeritud.

Soojuse tootmisega katlamajas kaasnevad soojuskaod, millest kõige märkimisväärsamad on järgmised komponendid:

- kaod korstna kaudu ehk kaod suitsugaasidega,
- kiirgus- ja ülekandekaod,
- tühikäigukaod.

¹⁷ O. Seppänen, M. Seppänen. Hoone sisekliima kujundamine. Tallinn, Koolibri, 1998.

Vähemal määral mõjutavad kasutegurit keemiliselt ja mehaaniliselt mittetäielikust põlemisest põhjustatud kaod.

Säästupotentsiaali määramiseks on vaja leida kasutegur.

Katla kasutegur arvutatakse suhtest:

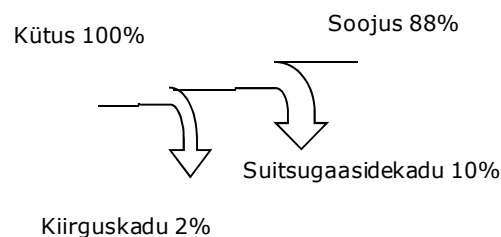
väljund (katlast väljastatud soojus)

sisend (kütuses sisaldunud energia).

Reeglina hetkeline kasutegur ja aasta keskmine kasutegur erinevad üksteisest.

Hetkeline kasutegur

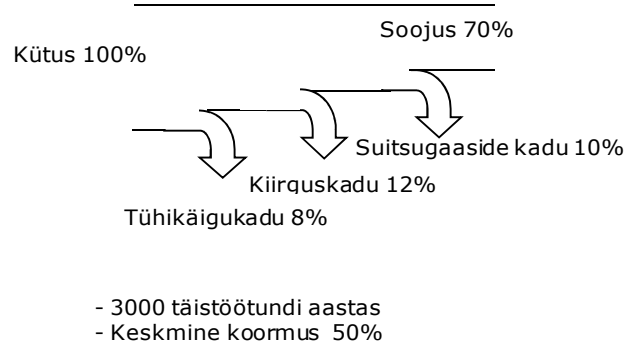
Hetkelist kasutegurit (Joonis 6.3) saab määrata suitsugaaside analüüsiga. Suitsugaaside analüüsi käigus mõõdetakse suitsugaaside kadu. Kiirguskadu lisatakse suitsugaaside kaole.



Joonis 6.3 Katla hetkelise kasuteguri diagramm.

Aastane kasutegur

Aasta keskmine kasutegur (Joonis 6.4) arvutatakse aasta jooksul tarbitud kütuse ja samal ajal toodetud soojuse koguste põhjal.



Joonis 6.4 Katla aasta keskmise kasuteguri diagramm.

Soovitused

- Katel peab olema tihedalt kokkumonteeritud, vältimaks väärtõhu sattumist põlemiskambrisse. Õige koguse õhu lisamine peab toimuma ainult põletis.
- Katla suurus peab vastama hoonete soojusvajadusele. Kui katel on liiga suur, on tühikäigukaod (tõmme korstnast põleti seiskamisel) väga suured.
- Suitsugaaside kadude kindlaksmääramiseks tuleb vähemalt kord aastas mõõta suitsugaaside temperatuuri, O_2/CO_2 ja tahma sisaldust. Suitsugaaside kadu ei tohiks ületada 10-12%. Kui kasutatakse kütusena gaasi, tuleb tahma sisalduse asemel määrata CO sisaldus.

6.2.1.1 Katla renoveerimine või täiesti uus süsteem?

Vanemad katlad töötavad kahjumiga, millele osutab väike aastane kasutegur. Halvimatel juhtudel on katla aastane kasutegur madalam kui 50%, samas kui kaasaegsete katelde kasutegur on 80-85%. Kui katel vajab vahetamist, tuleks mõelda kas paigaldada ainult uus katel või renoveerida kogu soojuse tootmise süsteem – katel + abiseadmed (katelagregaat või veel laiemalt katlamaja sisseseade).

Katelagregaat koosneb seadmetest, mis on vajalikud katlamaja funktsioneerimiseks. Uus katelagregaat on parim lahendus juhul, kui enamik seadmeid katlamajas vajavad vahetamist või renoveerimist.

Kasutatavad energiasäästumeetmed sõltuvad katlamaja seisukorrast. Kõige tähtsamad asjad, mida arvesse võtta, on katla vanus, põleti vanus, katla isolatsiooni olukord ja suitsugaaside kaod. Järgnev tabel (vt Tabel 6.1) aitab hinnata, mis on otstarbekam, kas renoveerimine või uute seadmete soetamine.

Tabel 6.1 Katla renoveerimise vajadus sõltuvana vanusest ja kadudest.

KATLA VANUS	PÕLETI VANUS	KATLA ISOLATSIOON	SUITSUGAASIDE KADU ALLA 10%	SUITSUGAASIDE KADU 10 – 16%	SUITSUGAASIDE KADU ÜLE 16%
0-10 AASTAT	0-8 AASTAT	JAH		A	
		EI	B	A + B	
0-10 AASTAT	ÜLE 8 AASTA	JAH		A + C	A + C
		EI	B	A + B + C	A + B + C
ÜLE 10 AASTA	0-8 AASTAT	JAH		A + D	A + D
		EI	B	A + D	A + D
ÜLE 10 AASTA	ÜLE 8 AASTA	JAH		C + D	C + D
		EI	B	C + D	C + D

Selgitus tabeli juurde:

A: Puhasta katel / reguleeri põletit,

B: Varusta katel isolatsiooniga,

C: Vaheta põleti,

D: Vaheta katel,

Asjad, millele tähelepanu pöörata

Kui katlamaja koguvõimsus ületab 500 kW, on mõttekas paigaldada ühe katla asemel kaks või enam katelt. Näiteks üks katab umbes 60% ja teine 40% maksimaalsest soojusvajadusest. Katel, millele langeb 60% maksimaalsest soojusvajadusest on võimeline katma üle 90% kütteperioodi kestel olevast soojusvajadusest.

Soovitused

- Vanade katelde väljavahetamisel või uue katlamaja projekteerimisel on olulise tähtsusega uute katelde võimsus ja arv.
- Katla koormus võiks olla vähemalt 80-85% maksimaalsest väljundvõimsusest, tagamaks efektiivse töötamise.
- Katla operaatoril või hooldajal peaks olema võimalus kasutada vajalikke mõõteriistu suitsugaaside temperatuuri ja CO₂ (%) / O₂ (%) sisalduste mõõtmiseks, et määrata katla

kasutegurit kindlate ajavahemike järel. Katla hetkeline kasutegur peaks olema vähemalt 85-92%.

- Katla ja põleti (gaas, õli, biokütus) parameetrid peavad omavahel sobima, et kindlustada optimaalne kasutegur ja stabiilne töörežiim.
- Katel peab suitsugaasides sisalduvat soojust efektiivselt kasutama. Suitsugaaside temperatuur ei tohi suuremates õlikateldes ületada 180°C ja väiksemates kateldes 220°C. Katelt tuleb puhastada siis, kui suitsugaaside temperatuur ületab 25-40°C normaalset temperatuuri (vahetult peale puhastamist mõõdetud temperatuur).
- Katla ümber peab olema piisavalt ruumi mõõtmiste teostamiseks, opereerimiseks, puhastamiseks, põleti avamiseks, torude vahetamiseks jne.
- Tuleb jälgida tootjagarantiisid (suitsugaaside temperatuur, gaasikäigu vastupidavus, kasutegur), kui katel töötab 100%- sel koormusel ja üle või alla 100% koormuse.
- Tuleb jälgida ringluspumbale esitatavaid nõudeid (vee voolu hulk, rõhk, sisend- ja väljundtemperatuuride erinevusel).
- Jälgi katla isolatsiooni kvaliteeti.
- Tee kindlaks, kuidas vähendada soojuskadusid katla tühikäigul.
- Kontrolli katla puhastamise mugavust ja efektiivsust.

6.2.2 Põletid

Asjad, millele tähelepanu pöörata

- Vanemaid õlipõleteid võib olla keeruline reguleerida. Kaasaegsete põletite puhul selliseid probleeme ei esine.
- Kui katlamajaga ühendatud tarbijate arv on vähenenud või hoonetes on rakendatud energiasäästu meetmed, võib põleti võimsus osutada liiga suureks. Ülevõimsust saab kompenseerida väiksema düüsi paigaldamisega. Juhul kui seda teha ei ole võimalik, on mõttekam paigaldada uus katel ja/või põleti.

Soovitused

- Tagada õige kütuse ja õhu vahekord.
- Rotatsioonipõleti (õli) võlli pöörlemiskiirus peaks olema umbes 2800 pööret/min. Vastupidiselt vanematele põletitele, on uut tüüpi põletite plahvatusrõhk piisav stabiilse leegi säilitamiseks.
- Põleti düüsi ava läbimõõt (võimsus) peab vastama ühendatud hoonete maksimaalsele soojusvajadusele. Kui düüs on liiga suur, on tühikäigukaod suured.
- Põleti düüsi tuleks regulaarselt vahetada - ideaalsel juhul kord aastas (düüsid kuluvad).
- Põleti peaks olema varustatud klapiga, mis sulgub põleti seiskamisel, vähendamaks ventilatsioonikadusid, mis tekivad seoses korstna tõmbega.
- Põleti peaks olema varustatud tunnilugejaga töötaja salvestamiseks.

Põleti reguleerimine

Õli/gaasi põleti peab töötama vastavalt soojusvajadusele. Muutuva soojusvajaduse korral peaks põleti olema automaatselt reguleeritav.

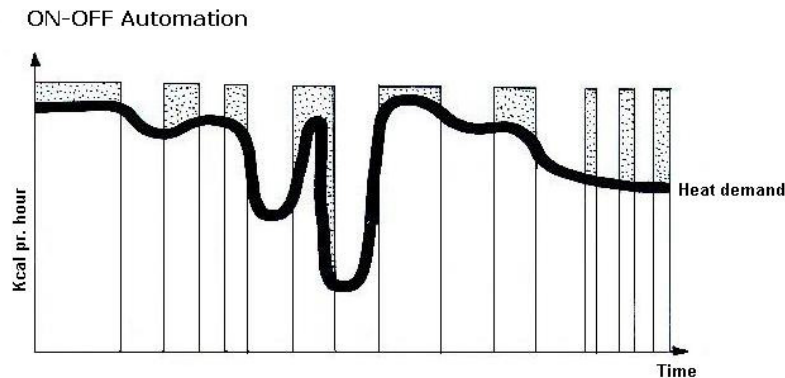
Kolm põletite automatiseerimise võimalust on:

- on/off (sisse-/väljalülitatud) – reguleerimine,
- kõrge/madal reguleerimine,
- moduleeritav reguleerimine (sujuv reguleerimine vastavalt muutuva soojuskoormusele).

Tähtis on kaaluda automatiseerimise eeliseid ja puudusi. Suurte katlamajade automatiseerimine võib maksta sama palju või isegi rohkem kui katlamaja.

Sisse-välja reguleerimine - täielikult automaatne ühetasemeline sisse-välja reguleerimine.

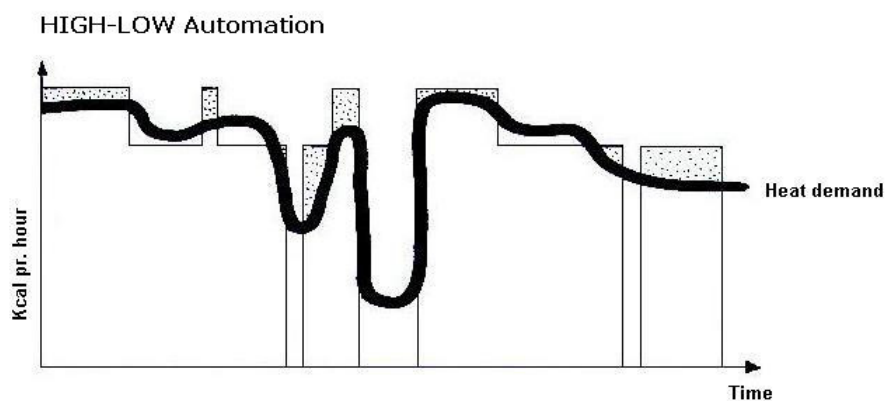
Põleti võimsus on valitud lähtuvalt maksimaalsest soojusvajadusest. Soojusvajadus muutub (MJ, kW/h, kcal/h) ajavahemike tagant (vt Joonis 6.5). Sisse- välja reguleerimine võib tekitada lühiajalist ületootmist. Maksimaalsel soojusvajadusel võib soojuse tootmine hilineda. Sisse-välja režiimiga põleti automatiseerimisel on tõenäoline, et põletit lülitatakse liiga tihti sisse ja välja, mis võib rikkuda põleti käivitusmehhanismi.



Joonis 6.5 Sisse-välja reguleerimisega põleti töögraafik.

Kõrge-madal reguleerimine - täielikult automatiseeritud kahetasemeline kõrge- madal reguleerimine (Joonis 6.6).

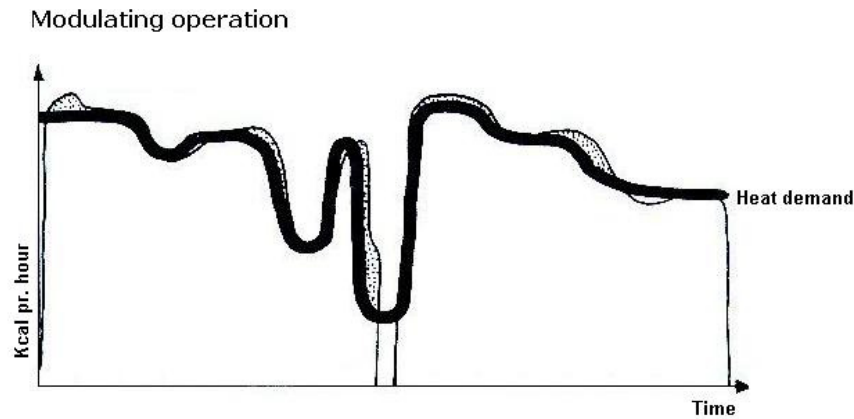
Põleti töötab kahel tasemel: kõrge tase - maksimaalne soojusvajadus ja madal tase - valitud optimaalne tase, rahuldamaks väiksemat soojusvajadust. Kõrge-madal reguleerimise meetod on optimaalsem muutuvate soojuskoormuste korral ja põleti välja ja sisse lülitamisi ei ole nii palju kui sisse-välja reguleerimise korral. Kõrge-madal reguleerimise korral on tähtis, et madala taseme valikul ei valitaks liiga madalat, mis viib suitsugaaside temperatuuri alanemise kastepunktini (võib tekkida happeline kondensaat küttepindadele ja gaasikäikudesse).



Joonis 6.6 Kõrge-madal reguleerimisega põleti töögraafik.

Moduleeriv opereerimine - Täielikult automatiseeritud moduleeriv (vahelduv/muutuv) reguleerimine.

Põleti tööd kontrollitakse pidevalt lähtuvalt muutuvast soojusvajadusest (kindlad limiidid, näiteks õli kulu 100 – 300 kg/h). Moduleeriva automatiseerimise puhul on väga vähe põleti sisse- ja väljalülitamisi. Jällegi on tähtis kindlaks määrata optimaalseim madal koormus (tase), arvestades suitsugaaside temperatuuri alanemist kastepunktini. Eriti tähtis on see juhtudel, kui katlamaja töötab pikaajaliselt madalal soojuskoormusel (suvel sooja tarbevee tootmiseks). Moduleeriva reguleerimisega suudetakse kõige paremini järgida hoone soojusvajadust (soojuskoormust), vt Joonis 6.7.



Joonis 6.7 Moduleeriva reguleerimisega põleti töögraafik.

6.2.3 Katlamaja tõhusa käidu kindlustamise meetmed

6.2.3.1 Suitsugaaside analüüs

Pidev põlemisprotsessi kontrollimine tagab optimaalse põlemise kvaliteedi ja parima efektiivsuse. Põlemisprotsessi saab kontrollida elektrooniliste suitsugaasianalüsaatoritega.

Energiasäästu potentsiaal - suitsugaaside temperatuuri kasv või põlemine ülemäärase koguse liigõhuga tekitab suitsugaaside kadude suurenemist.

Näiteks suitsugaaside temperatuuri tõstmisel 25 °C võrra suureneb suitsugaaside kadu umbes 1% võrra. Kui algselt reguleeritud liigõhu tegur 1,2 muutub 1,5-ks, suureneb suitsugaaside kadu 1,5% võrra.

Eeldades, et suitsugaaside kadusid on võimalik vähendada umbes 1% võrra, saame säästu leida järgmiselt:

Sääst (S) = kütuse maksumus x (uus kasutegur – kasutegur enne renoveerimist) / uus kasutegur.

Sääst = 900,000 * (81,5 - 80) / 81,5 = umbes 16 600 krooni

Tasuvusaeg = I / S = 10 000 / 16 000 = 0,6 aastat,

kui elektroonilised suitsugaasianalüsaatorid maksavad umbes 10 000 krooni (investeering – I).

6.2.3.2 Hooldus

Katla regulaarne puhastamine pikendab selle eluiga. Katla töö ökonoomsus sõltub paljuski soojusvahetuspinde seisukorrast. Seetõttu on tähtis kulutada aega ja ressursse puhastusele ja puhastusvahenditele. Järgida tuleb katla tootja instruksioone. Kui katelt ei puhastata korralikult ja puhastusvahendeid ei hooldata, on katla puhastamine katla operaatorile (hooldajale) koormav ja raske ning langeb teenuse kvaliteet.

Katla sisepinnad kattuvad tahmaga. Tahm käitub isolaatorina katla kuumade küttepindade ja veeruumis oleva vee vahel. Tahm vähendab soojusülekannet ja põhjustab suitsugaaside temperatuuri tõusu. Kõrge suitsugaaside temperatuur põhjustab suuri kadusid ning katla kasuteguri vähenemist. Seega tuleb katla sisepindasid regulaarselt puhastada. Kui suitsugaaside temperatuur on tõusnud 30-40°C võrra, siis vajab katel kindlasti puhastamist.

Märkused!

Katla puhastamiseks tuleb alati seisata põleti ja välistada süsteemi automaatne käivitus. Põleti tuleb kinni katta kaitsmaks seda tahma ja tuha eest.

1 mm paksune tahmakiht soojusvahetuspindadel tõstab suitsugaaside temperatuuri 50°C võrra, mis omakorda suurendab kütuse tarbimist umbes 3-5% võrra.

6.2.3.2.1 Malmkatelde puhastamine

Malmkatlaid puhastatakse tavaliselt spetsiaalsete tootja poolt konkreetsele katlatüübile valmistatud vahenditega (harjad, kaabitsad). Katelt ei tohi puhastada nii, et karedaid pindu kahjustatakse ja need muutuksid metalseks. Selline kahjustamine toob kaasa pindade kiirema korrodeerumise. Mõnele kateldele on raske leida sobivaid puhastusvahendeid. Sellise juhul on efektiivsem puhastada katelt soodavee katlasse pihustamisega. Sooda neutraliseerib happelist tahma.

Kasutada tuleb minimaalselt vett, seega ei tohi katelt pesta, kuna vee osakesed peavad vaid loputama küttepindadelt tahma. Seda meetodit kasutatakse ainult kuumade pindade korral. Reovett (katla pesuvett) ei tohi lasta kanalisatsiooni enne, kui see on korralikult soodaga neutraliseeritud.

Õlita ühenduskohti puhastatud pindade juures õli ja grafiidi seguga. See kindlustab malmkatla optimaalse tiheduse.

6.2.3.3 Isoleerimine

Katlaruumis tuleb isoleerida:

- torustik - kuuma- ja külmaveetorud,
- ventiilid,
- mahutid (säilitusmahutid, kondensaadimahutid, soojusvahetid jne).

Märkus!

Soojuskadu puuduliku isolatsiooniga ventiili äärikutelt (flanšidelt) on võrdne soojuskaoga 1,5 m pikkusest isoleerimata torust.

Katlamajade torustiku korraliku isoleerimisega saavutatakse märkimisväärne energiasääst. Säästu on kerge hinnata korralikult kaardistatud torustiku korral. Torustiku isoleerimine on tasuv investeering olenematult keskkonna temperatuurist ja torude läbimõõdust. Tüüpiline tasuvusaeg on 1-3 aastat, sõltuvalt katlamaja seisukorrast ja isoleerimistöö mahukusest.

6.2.3.4 Jääksoojuse taaskasutamise potentsiaal

Iga 25°C võrra põlemisõhu temperatuuri tõstmisega, säästetakse umbes 1% kütust. Iga 25°C võrra suitsugaaside temperatuuri langetamisega (kuni kastepunktini), säästetakse 1% kütust. Langetades suitsugaaside temperatuuri 190°C-st 40°C-ni (maagaasi põletamisel), säästetakse energiat 12,5%.

6.2.3.4.1 Jääksoojuse taaskasutamine gaasikatlamaajades

Põlemisprotsessi käigus tekib veeaur (eriti gaasi põlemisel). Veeaur moodustab suure osa suitsugaaside koostisest ja on osa varjatud (latentsest) soojusest, mis tavaliselt väljub korstna kaudu.

Kui veeaur muudetakse veeks, saab varjatud soojust kasutada. Eelkõige tasub seda kasutada maagaasi põletites (ei sisalda väävlit). Maagaasi puhul on suitsugaaside kastepunkt 55-58°C.

Jahutades suitsugaase allapoole kastepunkti temperatuuri, veeaur kondenseerub ja eraldub varjatud soojus, mida on võimalik üle kanda nt küttesüsteemist tagastuvale veele.

Varjatud soojuse kasutamine toitevee/tagastuva vee eelsoojendamiseks võimaldab säästa kütust. Seda saab teha kondensatsioonkatlaga või suitsugaaside süsteemile ökonomaiseri paigaldamisega. Kui tagasivoolu temperatuurid on 50°C või madalamad, tuleks kaaluda spetsiaalse katla või ökonomaiseri paigaldamist, sest mida madalamad on tagasivoolu temperatuurid, seda suuremat kokkuhoidu on võimalik saavutada. Maagaasikatlamaajas võib suitsugaaside temperatuur olla nii madal kui võimalik, kuna ei pea jälgima kastepunkti. Seal tekib palju kondensaati, mis tuleb minema juhtida - 1 kg maagaasi põletamisel tekib umbes 2 kg vett (veeauru).

Kaasaegselt soojustatud majades on hoone küttegraafik madalam võrreldes vanade nõukogudeaegsete majadega ning sellisel korral õigustab kondensaatkatel end enam. Hoonete küttesüsteemide renoveerimisel tuleks uue projekti koostamisel kondensaatkatla võimalusega arvestada.

Tüüpiline aastane sääst, võrreldes tavakatlamajaga, on 10-15%.

Märkus!

Kondensaadiga kokkupuutuvad pinnad peavad olema valmistatud korrosioonikindlast materjalist (roostevaba teras). Tuleb konsulteerida vastavate ametiorganisatsioonidega, et teha kindlaks kas kondensaati võib kanalisatsiooni juhtida ning muude kondensaadi käitlemisega seotud piirangute selgitamiseks (kondensaadi pH väärtus on 3 - 4).

Näide

Enne:

- 200 kW maagaasi katel (kuum vesi),
- suitsugaaside temperatuur 250°C (suitsugaaside kadu 10%, 21% koos kondensatsioonisoojusega),
- aastane kütuse tarbimine 120 000 m³ maagaasi (aastane kasutegur 73%),
- kütuse maksumus aastas 600 000 kr (1 m³ maagaasi = 5 krooni)

Pärast:

- Paigaldati suitsugaaside jahuti,
- suitsugaaside temperatuur 50°C (suitsugaaside kadu koos kondensatsioonisoojusega 9%, uus kasutegur 85%),
- aastane sääst = kütuse maksumus (uus kasutegur- kasutegur enne) / uus kasutegur =
= 600 000 *(85 - 73) / 85 = 84 706 krooni,
- jahuti maksumus 180,000 krooni,
- paigaldamise kulud 150 000 krooni,
- maksumus kokku 330 000 krooni.

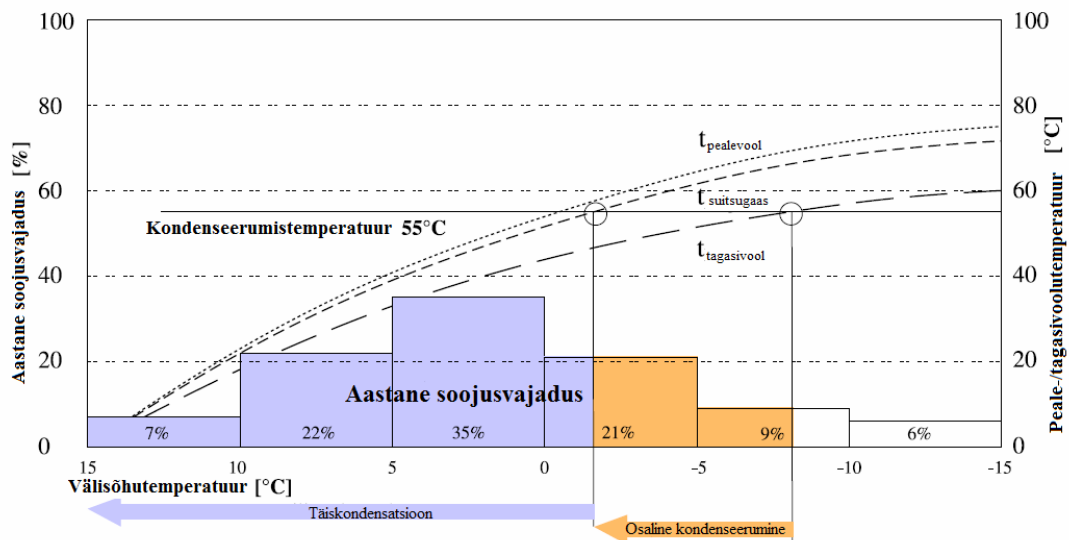
Tasuvusaeg = I/S = 330 000 / 84 706 = 3,9 aastat

Märkus!

Eelnevas arvutuses ei arvestatud võimalikku vajadust paigaldada tõmbeventilaatoreid ja happekindlaid gaasikanaleid ning suitsukäike. Olemasoleva süsteemi hindamisel on vajalik teha täpsemad arvutused. Tüüpilised tasuvusajad sõltuvalt lisatöödest on vahemikus 3 - 8 aastat.

6.2.4 Kondensaatkatlad

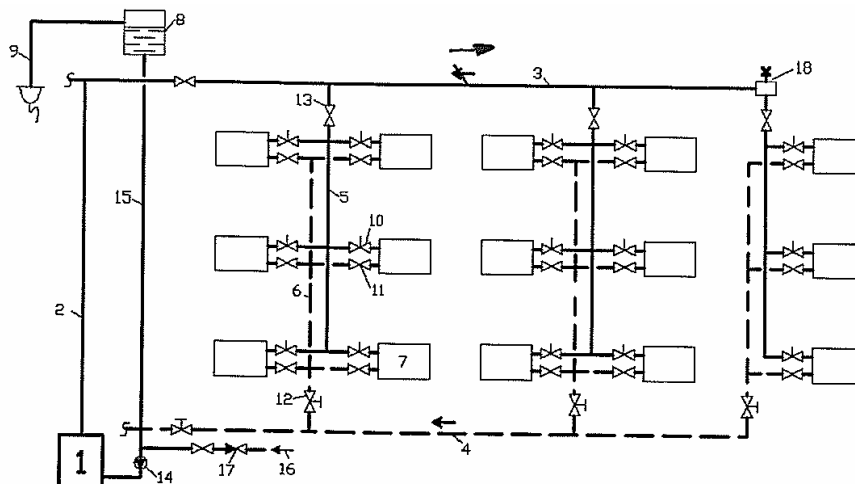
Kondensaatkatelde korral on võimalik ära kasutada suitsugaasides sisalduva veeauru kondenseerumisel vabanevat soojust. Kondensaatkatla kasutegur sõltub peale- ja tagasivoolutemperatuuridest ja need omakorda sõltuvad peasjalikult hoone soojuskadudest ja välisilmastikust, vt ka Joonis 6.8. Mida paremini on hoone soojustatud, seda madalamat küttegaafikut on võimalik hoida ja seda efektiivsemalt kondensaatkatel töötab.



Joonis 6.8 Kondensatsioonkatla tööd iseloomustav graafik.¹⁸

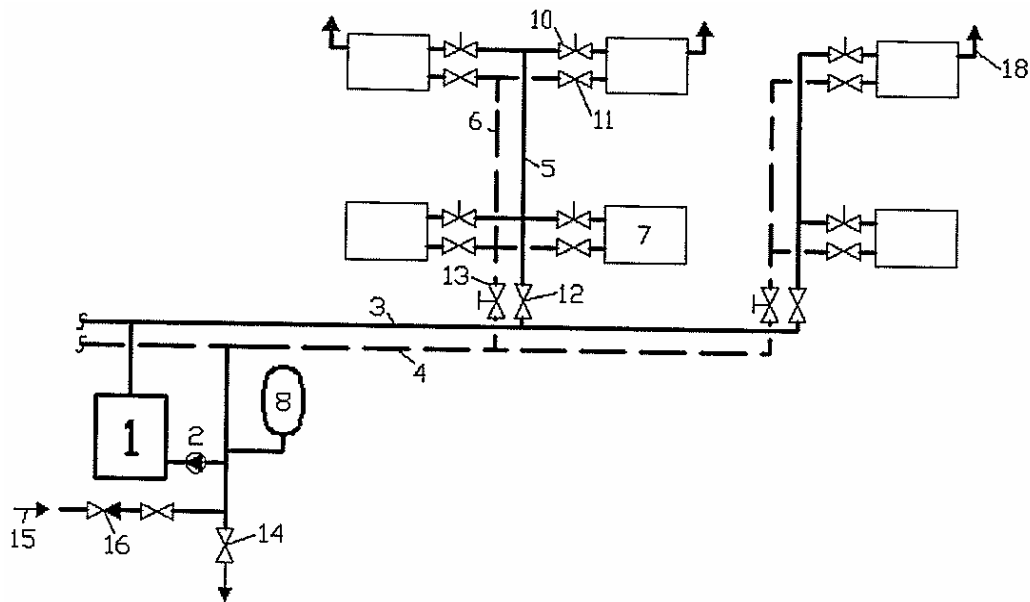
6.3 Radiaator/konvektor vesiküttesüsteem

Küttesüsteeme võib liigitada mitmeti. Sõltuvalt magistraaltoru paiknemisest saab küttesüsteeme liigitada ülalt- ja altjaotusega süsteemiks, vt Joonis 6.9 ja Joonis 6.10.



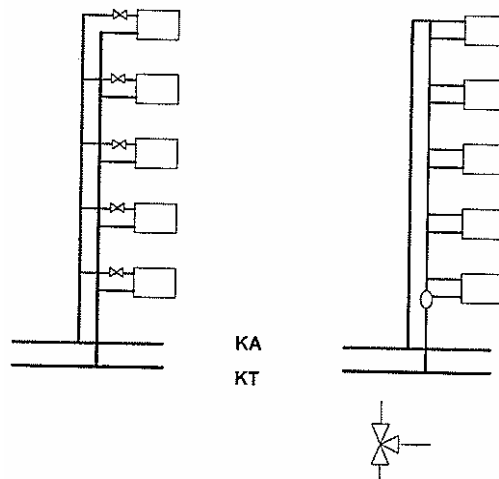
¹⁸ Energieagentur NRW.

Joonis 6.9 Ülemise jaotusega küttesüsteem.



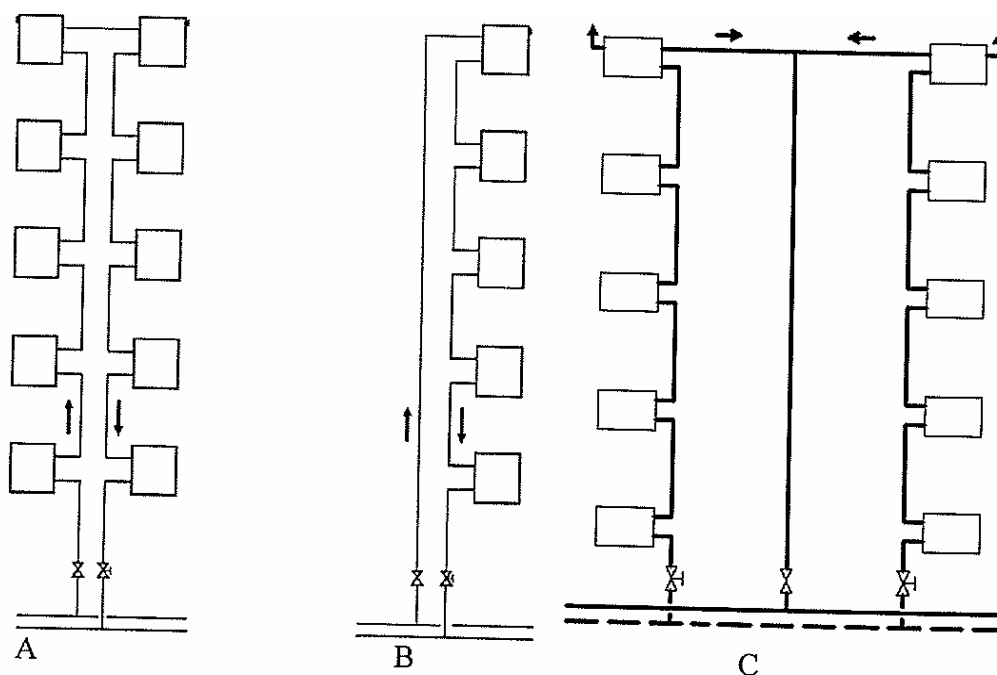
Joonis 6.10 Alumise jaotusega küttesüsteem.

Olenevalt küttekehade ühendusviisist peale- ja tagasivoolu torustikuga liigitatakse vesiküttesüsteeme ühe- ja kahetorusüsteemideks, vt ka Joonis 6.11.



Joonis 6.11 Kahe- (vasakul) ja ühetorusüsteem (paremal)

Ühetoruküttesüsteeme võib hoonetes esineda mitmel viisil, mida kujutab Joonis 6.12. Üldjuhul puudub ühetorusüsteemi korral võimalus küttekeha soojusväljastust ruumipõhiselt reguleerida.

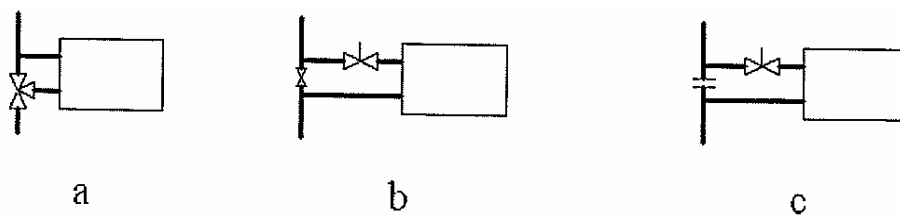


Ühetoru küttesüsteemi püstikud: A - II-kujuline, B - ühepoolse ühendusega, C - 3-toru püstik (II-kujuline lisatoruga)

Joonis 6.12 Ühetorusüsteemid.

Olemasolevate ühetorusüsteemide asendamine kahetorusüsteemiga koos termostaatventiilide paigaldamisega on eelistatum lahendus muutmaks küttesüsteemi ruumipõhiselt reguleeritavaks. Siiski, iga hoone on erinev ja teatud juhtudel võib osutuda võimalikuks ka olemasoleva ühetorusüsteemi muutmine termostaatventiilidega reguleeritavaks. Viimane variant on ca kolm korda odavam, kui uue kahetorusüsteemi väljaehitamine.

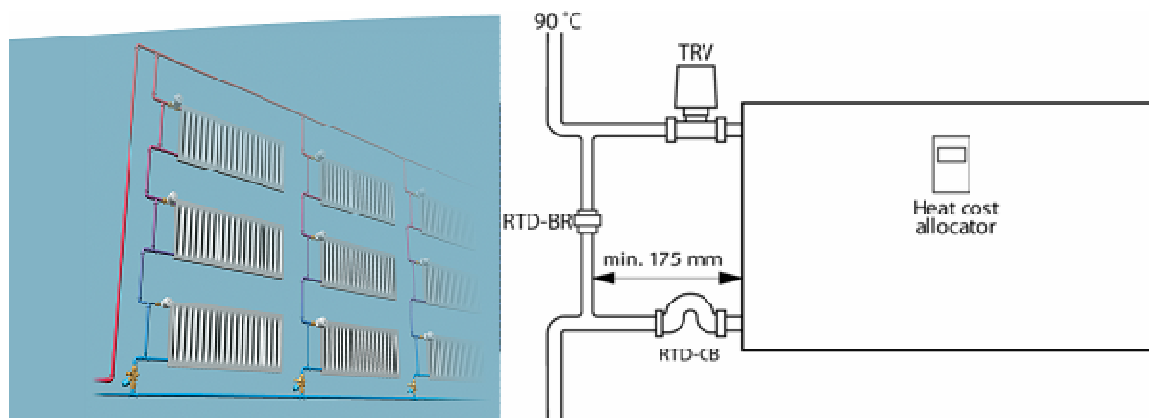
Joonis 6.13 ja Joonis 6.14 illustreerivad erinevaid lahendusi muutmaks ühetorusüsteemi termostaatventiilidega juhitavaks.



Automatiseeritud ühetorusüsteemi küttekehade ühendusviisid: a-3-tee ventiiliga, b-2-tee ventiiliga ja seadeventiiliga möödaviigul, c-2-tee ventiiliga ja drosselseibiga möödaviigul.

Joonis 6.13 Ühetorusüsteemi küttekeha ühendusviisid.

Termostaatventiilidena on soovitatav kasutada gaastäitega ventiile, kuna nende reageerimisaeg kütteväljastuse reguleerimisel on kiirem ning sellega on võimalik saavutada parema reguleerimise arvelt kuni **5%** säästu võrreldes vedeliktäitega termostaatventiilidega.



Joonis 6.14 Termostaatventiilidega 1-torusüsteemi põhimõttelisi lahendusi.¹⁹

Joonis 6.15 illustreerib praktilisi näiteid ühetorusüsteemide renoveerimisest ruumipõhiselt reguleeritavaks.



Joonis 6.15 Eestis renoveeritud 1-torusüsteemid.²⁰

Küttesüsteemi reguleeritavus on oluline piirete soojustamisest tuleneva säästu saavutamiseks. Pärast soojustamist on soojuskaod väiksemad ning seetõttu on ka küttevajadus väiksem. See tingib vajaduse reguleerida kütteväljastus madalamaks. Vastasel korral tõuseb siseõhutemperatuur ning soojus lastakse akende kaudu atmosfääri ja säästu ei teki.

Sõltuvalt sellest milliseid piirdeid soojustatakse ja kas küttesüsteemi rekonstrueeritakse, on vaja soojusväljastust reguleerida nii soojussõlmes kui korteripõhiselt saavutamaks piirete soojustamisest tulenevat säästu. Kõige parema energiasäästu koos tehnosüsteemide kaasajastamisega annab hoone kõigi piirete lisasoojustamine koos küttesüsteemi vahetusega. Sellisel korral tuleb küttekehad valida vastavalt uuele olukorrale, mis tähendab, et küttekehad on väiksema võimsusega ja odavamad. Kui rahalised võimalused lubava, siis võib välja ehitada ka soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi, mis vähendab küttekehade võimsust veelgi, kuna ei ole nii suurt vajadust välisõhku küttekehade toatemperatuurile soojendada.

Möödaviikudega ühetorusüsteemi korral on soovitatav parema reguleeritavuse tagamiseks kasutada 2-tee radiaatorventiili koos termostaatpeaga.

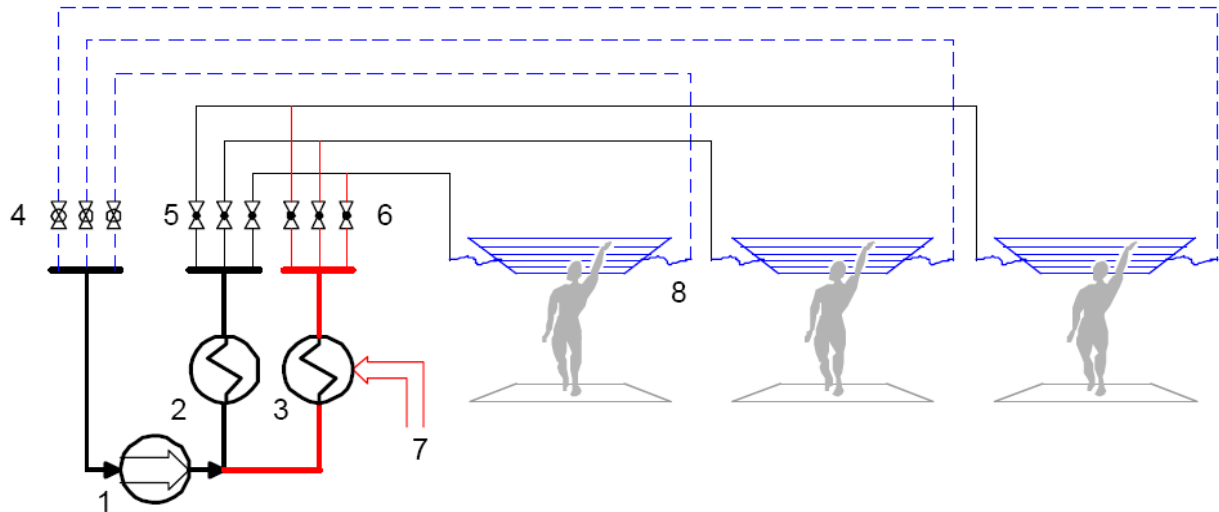
6.4 Kolmetorusüsteem

Keskkitte kolmetorusüsteemi kasutatakse hoonetes, kus toimub ka jahutamine. Süsteemi mõte on, et jahutamisel ruumist eemaldatav soojus kantakse üle teistesse hoone osadesse, kus

¹⁹ Danfoss.

²⁰ Danfoss.

on vaja soojust juurde anda. Eraldi jahutus ja küttesüsteemi korral toimuks eri ruumide jahutamine ja kütmine eraldi (Joonis 6.16).

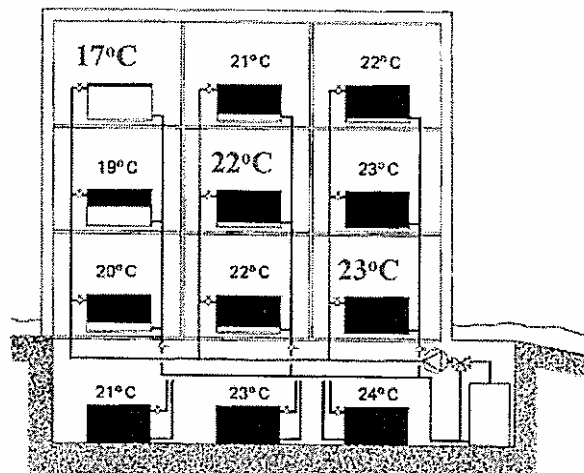


Joonis 6.16 Kolmetorusüsteemi põhimõtteskeem.

6.5 Küttesüsteemi hüdrauliline tasakaalustamine

Üldjuhul, mida kaugemal paikneb küttekeha soojuskeskusest, seda suuremad on rõhukaod. Kui süsteem ei ole kunstlikult tasakaalustatud, siis ringleb soojuskeskusele lähemal paiknevates kontuurides, millede hüdrauliline takistus on suhteliselt väike, ettenähtust rohkem ja kaugemates kontuurides, millede hüdrauliline takistus on suurem, vähem soojuskandjat. Selle tagajärjel on osades ruumides ettenähtust kõrgem temperatuur ja osades madalam. Joonis 6.17 - Joonis 6.19 illustreerivad küttesüsteemi tasakaalustamist.

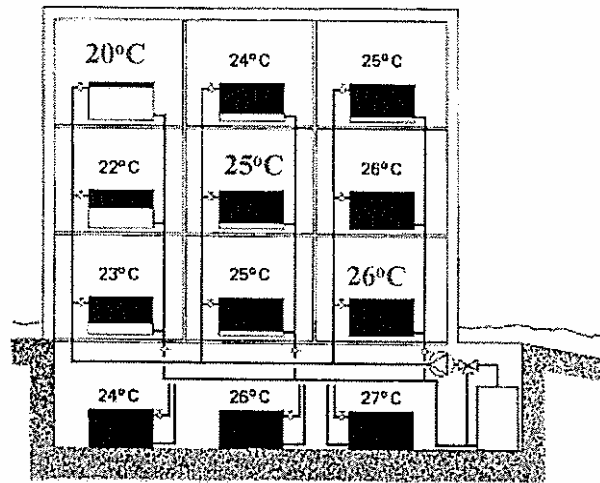
Tasakaalustamata keskmine $t_s=21,4$



Tasakaalustamata küttesüsteem. Madalaim ruumiõhu temperatuur 17°C

Joonis 6.17 Tasakaalustamata süsteem.

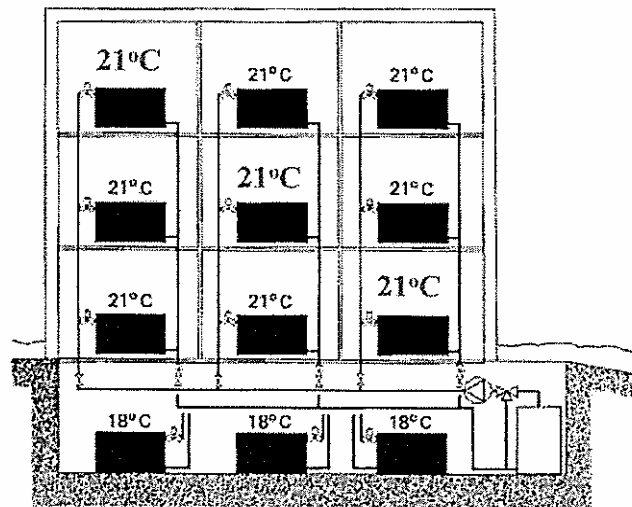
Tasakaalustamata keskmine $t_s=24,4$



Tasakaalustamata küttesüsteem. Madalaim ruumiõhu temperatuur 20°C

Joonis 6.18 Tasakaalustamata küttesüsteem.

Tasakaalustatud keskmine $t_s=20,4$



Tasakaalustatud küttesüsteem. Majas tagatud ettenähtud ruumiõhu temperatuurid

Joonis 6.19 Tasakaalustatud küttesüsteem.

Küttesüsteemi hüdraulilisest tasakaalustamisest tulenev tarbitava küttesoojuse vähenemine on hooneti erinev. Olukorras kus tasakaalustamisega saavutatakse ruumides ühtlane temperatuur, aga hoone keskmine temperatuur jääb samaks, energiasäästu otseselt ei teki, aga samas tagatakse hoones ühtlane ruumiõhutemperatuur, mis on oluline sisekliima komponent. Siiski, kui alakõetud ruumides kõetakse nt elektriga juurde, siis selle arvelt kütteks kulunud energia alaneb. Teisest küljest, kui tasakaalustamisega kaasneb hoone keskmise temperatuuri langus, siis selle arvelt tekib otsene soojuskadude vähenemine. Sõltuvalt olukorrast võib saavutatav suhteline sääst olla üldjuhul **5-10%**.

Küttesüsteemi hüdrauliliseks tasakaalustamiseks tuleb hargnevatele magistraaltorudele ja püstikutele (kontuuridele) paigaldada spetsiaalsed liiniseadeventiilid, mis tagavad vastavad

vooluhulgad. Lisaks eelseadistavatele liiniseadeventiilide võib tasakaalustamiseks kasutada ka otsetoimega tasakaalustusventiili, mis piirab vooluhulka väiksemaks siis, kui tagastuva vee temperatuur tõuseb. Võimalusel ja tehniliselt põhjendatud asjaoludel (muutuva vooluhulgaga süsteem) eelistada automaatseid tasakaalustusventiile staatilistele.

Olgu veel lisatud, et praktika on näidanud, et kui meil on tegemist kuni ca 24 korteriga hoonega ning hoones on termostaatventiilidega kahetorusüsteem, siis erinevate kontuuride tasakaalustamine olulist efekti ei anna.

6.6 Küttekulujaoturite kasutamine

Tänapäeval kasutatakse korteriomandiga, aga samuti muudes ühiskasutusega majades, küttekulujaotureid (vt ka Joonis 6.14 ja Joonis 6.15 parempoolsed pildid), mille eesmärgiks on anda inimestele võimalus maksta vastavalt tarbimisele. Igale küttekehale paigaldatakse vastav seade, mis registreerib selle küttekeha kaudu väljastatud soojuse. Kes soovivad madalama temperatuuriga tuba, maksavad vähem ja need, kes soovivad kõrgema temperatuuriga tuba, maksavad rohkem. Siiski on sellise jaotuse puhul olemas tarbimisest mittesõltuv osa, mis võtab arvesse soojuskao läbi ühiste ruumide. Samuti peab arvestama hoones nõutavat minimaalset temperatuuri, et oleks tagatud hoone konstruktsioonelementide mittekahjustumine välisilmastiku mõjude tõttu. Sellise süsteemi peamine mõte on sundida inimest eluruumides kütet reguleerima vastavalt soovitud. Ilma rahalise sunnimehhanismiga korterelamutes (sotsiaalmajades) ei ole inimestel motivatsiooni tegeleda korteripõhise reguleerimisega, nt kodust lahkumise ajaks alandada toatemperatuuri. Lisaks süsteemi väljaehitamise kulule, tuleb kord kuus maksta tasu arvestuse eest. Kuid seda on võimalik soovi korral teha ka kord aastas nagu nt Saksamaal, kuid Eestis on levinud praktika kord kuus. Küttekulujaoturite süsteemi kohta on erinevaid poolt- ja vastuväiteid ning kohati võib tekkida teatud sotsiaalne ebavõrdsus, kuid kui vaadata hoonet tervikuna, siis senine praktika on näidanud, et süsteemiga saavutatakse soojuse säästu. Soojuse sääst tuleb madalama kütteperioodi hoone keskmise temperatuuri arvelt, kuna inimestel on motivatsioon soojusväljastust paremini reguleerida, st vastavalt vajadusele. Näiteks, kodus olles reguleeritakse radiaator selliselt, et toas on +21 °C, aga kodust ära olles on toatemperatuur +18 °C.

6.7 Soojusväljastuse reguleerimine hoone soojussõlmes.

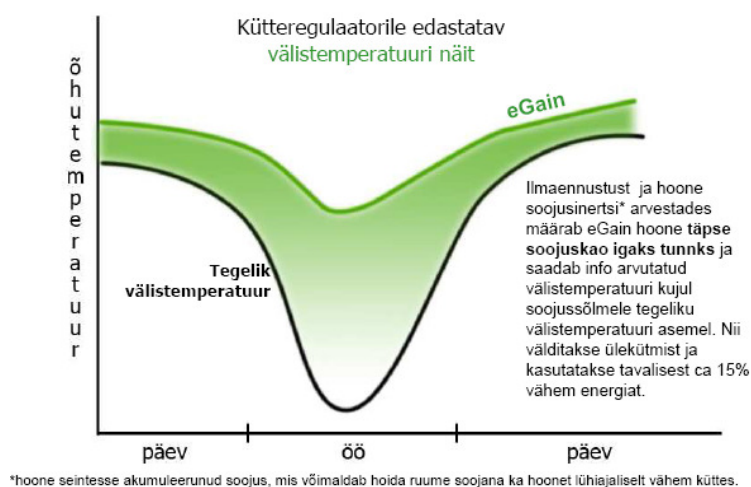
Suhteliselt uueks lahenduseks tänapäeval on nn ilmaennustusel põhinev küttereguleerimine hoone soojussõlmes. Selle meetodika tõi turule firma eGain, mille asutas Torbjörn Geiser Rootsisis 2002. aastal. Esimene rakendus hoones toimus 2003. aastal. Tänapäeval kasutab ilmaennustusel põhinevat soojusväljastuse reguleerimist üle 1 300 hoone (Rootsi, Soome), kogupinnal üle 6,5 mln m² (s.h korterelamud, ärihooned, lasteaiad, haiglad). eGain'i väitel säästeti 2008.a. kõikide nende klientide hoonetes 43,5 GWh kütteenergiat, mis samaaegselt vähendas CO₂ emissiooni atmosfääri 2 500 t võrra.

Teades järgnevat ilma, arvutab ilmaennustusel põhinev küttereguleerimise süsteem hoone kütmise vajaduse igaks tunniks (Joonis 6.20). Ennustusepõhine küttekontroll sobib enamikule korterelamutele, koolidele, haiglatele jne sarnase sisekliimaga hoonetele, millistel on:

- põhiline kütteallikas vesikeskküte, kaugkütte või lokaalküte oma katlaga, ühe-või kahetoru küttesüsteem või vesipõrandaküte,
- hea või kõrge soojustakistusega aknad, normaalse või suure massiga hoone kandekonstruktsioonid,
- hoone- ja/või radiaatoripõhine küttekulu mõõtmine/arvestamine,

- hoone rekonstrueeritud või see kavandamisel.

Kuidas *eGain* säästab energiat?



Joonis 6.20 Hoone ilmaprognoosil põhinev küttevajadus tunni kaupa.

Süsteem kasutab ilmaprognoosi koos hoone detailse energiabilansiga ja arvutab hoone täpse soojuskao järgmise 24 tunni ilmastikuoludest lähtuvalt. Süsteem ei opereeri otsese välisõhutemperatuuriga vaid nn ekvivalenttemperatuuriga, mis arvestab ka sademeid, tuult ja päikesepaistet. Ilmaennustusel põhinev süsteem aitab paremini ära kasutada ka hoone soojusmahtuvuslikke omadusi, nt ööseks prognoositakse temperatuuri alla null kraadi ning järgmiseks päevaks päikesepaistelist ilma. Tavalise välisõhutemperatuuri järgi reguleerides, väljastatakse soojussõlmest hoonesse kütet vastavalt välisõhutemperatuurile, kuigi ehk mõne tunni pärast on juba oodata päikesepaistet. Ilmaennustusel põhinev süsteem aga ei küta antud juhul hoonet intensiivselt, vaid kasutab ära hoone soojusmahtuvust (soojuslikku inertsit) ning päikesepaistega kaasneb juba välisõhutemperatuuri tõus ning kütte vajadus langeb. Teatud määral võimaldab selline süsteem ühtlustada ka hoone sisetemperatuuri.

Süsteemi saatja-vastuvõtja vahetab pidevalt informatsiooni andmebaasiga, mille tulemusena toimub pidev reguleerimine. Juhul kui andmevahetuses tekib tõrge, lülitub süsteem automaatselt ümber tavalisele välisõhutemperatuuri järgi reguleerimise printsiibile. Sellise võimaluse olemasolu on ka eelduseks, et kui soovitakse teenusest loobuda, ei pea uut reguleerimisautomaatikat muretsema, vaid saab jätkata sama seadmega. Hiljem võib samas soovi korral uuesti liituda, eeldusel et tehnika arenedes ei ole seadmed vananenud.

Investeering ühe soojussõlme kohta on ca 20 000 krooni ilma käibemaksuta. Samas tuleb teenuse eest maksta momendil ca 60 kroonise senti kütava pinna ruutmeetri kohta.

Tabel 6.2 Ilmaprognoosil põhineva küttesüsteemiga hoonete küttekulude võrdlus

Hoone	Periood	Küttekulu normaalaasta järgi, MWh		Küttesoojuse tarbimise vähenemine, %
		2008	2009	
KÜ Metskannike	Jaauar - Oktoober	253,3	212,85	16,0
KÜ Sütiste tee 45	Jaauar - Oktoober	275,9	228	17,4
KÜ Järveotsa tee 2	Jaauar - Oktoober	1 757	1 428	18,7

Hoone	Periood	Küttekulu normaalaasta järgi, MWh		Küttesoojuse tarbimise vähenemine, %
		2008	2009	
KÜ Järveotsa 5	Märts - Oktoober	219,9	158,3	28,0
KÜ Vilde tee 79	Aprill - Oktoober	261	185	29,1
Priisle Lasteaed	Märts - Oktoober	171,5	127,3	25,8

Tabel 6.2 annab ülevaate objektidest, kus kirjeldatud süsteemi kasutatakse. Tabelist võib ka järeldada, et selline süsteem töötab kõige efektiivsemalt muutlike ilmastikuoludega aastaegadel nagu kevadel ja sügisel.

Siiski oleks mõistlik enne süsteemi rakendamist vaadata kui palju säästetakse rahaliselt ning kui palju tuleb hakata maksma igakuist teenustasu.

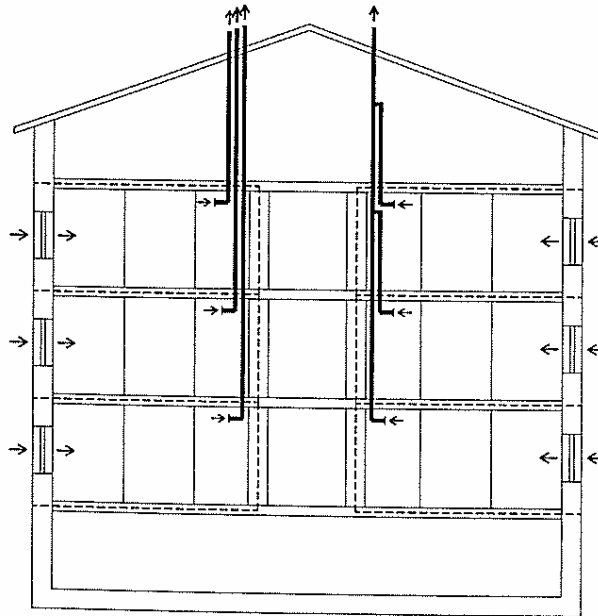
6.8 Hoone eri osade eraldi reguleerimine

Väga paljud hooned on orienteeritud selliselt, et suur osa ruume jäävad lõuna poole, mis ei vaja talviti alati päikesepaistelise ilmaga kütmist, ja ruumid, mis jäävad põhja poole vajavad kütmist. Kui ruumipõhiselt ei ole võimalik soojusväljastust reguleerida (nt termostaatventiilideta ühetorusüsteemid), siis on üheks lahenduseks nn põhja- ja lõunaosa eraldi reguleerimine. Vastavatele magistraaltorudele paigaldatakse regulaatorventiilid, mis ühendatakse automaatikaplokiga. Sellise lahenduse korral peab olema ka kaks välisandurit vastavates ilmakaartes. Teatud juhtudel võib osutuda vajalikuks ka magistraaltorustiku ümberehitamine. Orienteeruv maksumus 100 000-150 000 krooni.

7 Ventilatsioon

Hea sisekliima tagamiseks on vaja lisaks mugavale sisetemperatuurile tagada ka puhas siseõhk.

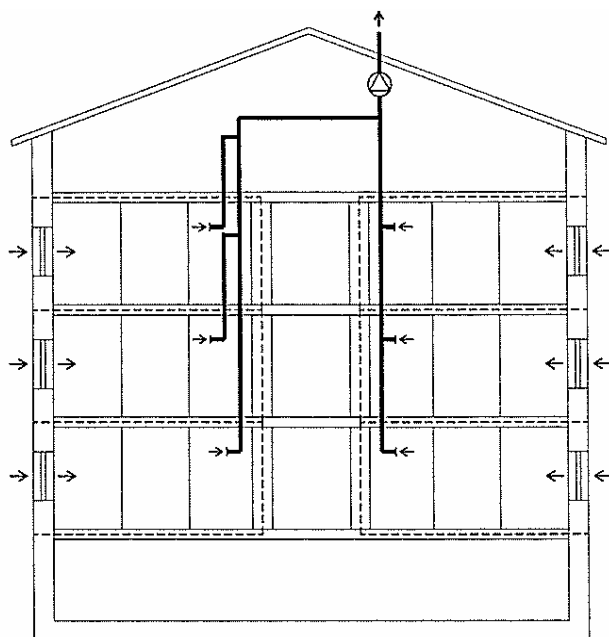
Kuni 90-ndate aastateni kasutati loomuliku ventilatsiooni süsteemi (Joonis 7.1), st süsteemi, kus õhk liigub gravitatsioonijõudude ja tuule mõjul. Värske õhu sisenemine oli ette nähtu läbi ebatiheduste ja ka läbi värskeõhuavade.



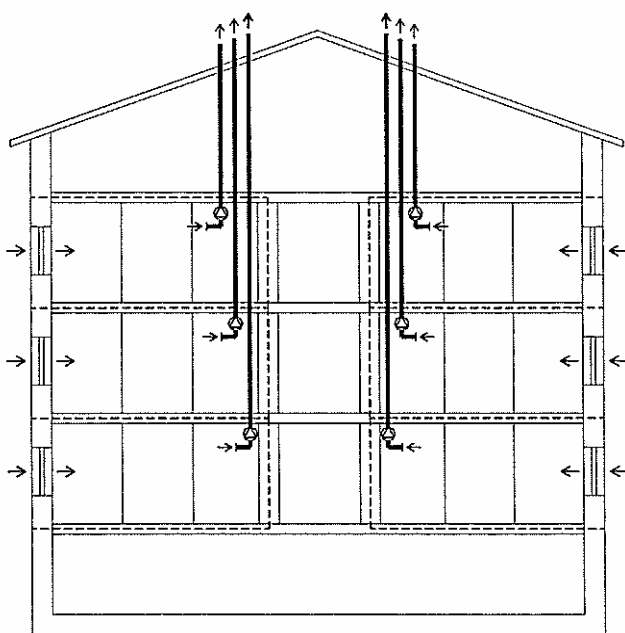
Joonis 7.1 Loomulik ventilatsioon.

Loomuliku ventilatsiooni põhiprobleemideks on õhuvahetuse mõjutatus välistemperatuurist (st külmade ilmadega on see liialt suur, soojematel päevadel aga väike), õhuvahetus kaasaegses mõistes juhitamatu ning on energiakulukas.

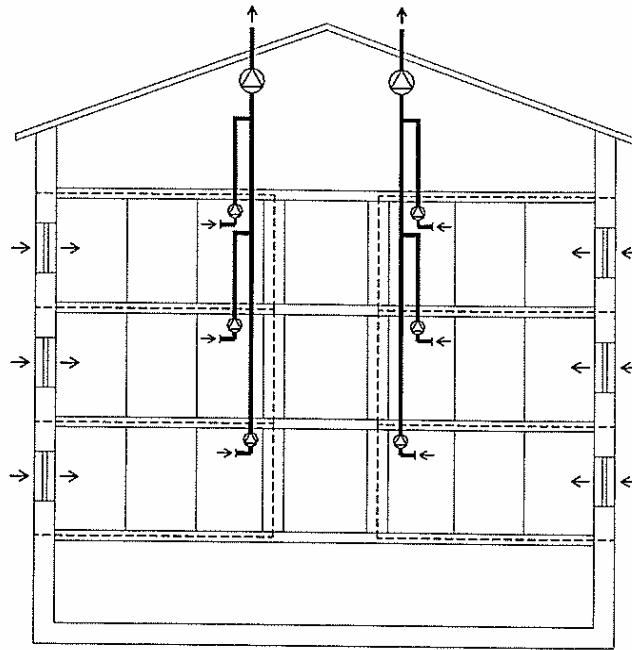
Alates 90-ndate algusest on ehitatud nn sundväljatõmme/loomulik sissepuhe erinevaid ventilatsioonilahendusi (Joonis 7.2 - Joonis 7.4). Võrreldes loomuliku ventilatsiooniga tagab see lahendus ruumides pidevalt vajaliku õhuvahetuse, kuid puuduseks on sissepuhkeõhu madal temperatuur külmal perioodil ja energiamahukus (ei kasutata soojustagastust).



Joonis 7.2 Ühine väljatõmme ja loomulik sissepuhe.



Joonis 7.3 Individuaalne väljatõmme ja loomulik sissepuhe.



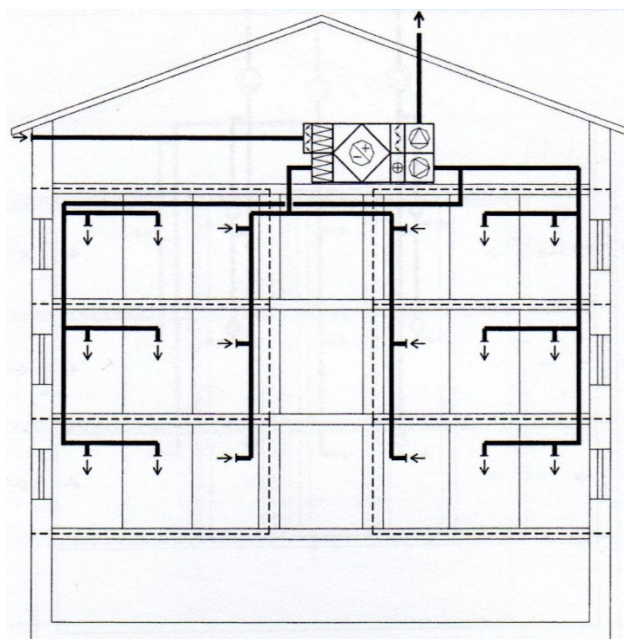
Joonis 7.4 Individuaalsed väljatõmbeventilaatorid, ühine sagedusmuunduriga väljatõmbeventilaator ja loomulik sissepuhe.

Eelpool vaadelduid lahendusi ei ole tänapäeval enam otstarbekas energiasäästu aspektist vaadatuna kasutada, kuna ventilatsiooniõhku tuleb kütteperioodil enne sissepuhet 100% soojendada sobivale temperatuurile ja see vajab täiendavat energiat. Selleks, et ventilatsiooniõhu soojendamiseks kuluvat energiahulka vähendada, kasutatakse heitõhu soojuse ülekandmist sissepuhutavale õhule. Toome siinkohal ära kaks põhimõttelist varianti:

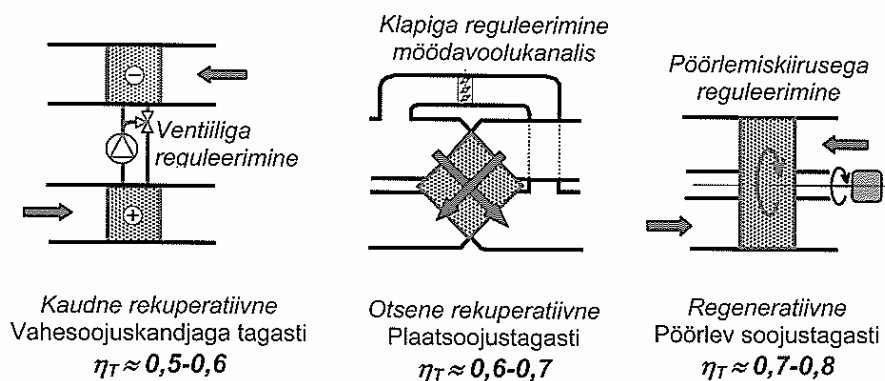
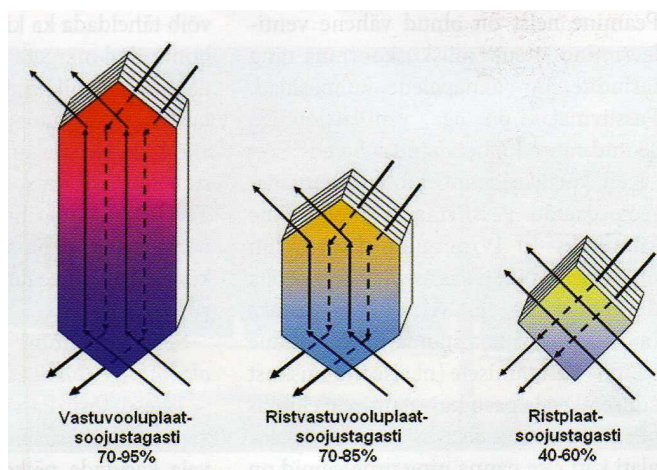
- ühine sundsissepuhke-väljatõmbe süsteem,
- lokaalne sundsissepuhke-väljatõmbe süsteem.

7.1.1 Ühine sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem

Hoones ehitatakse välja sissepuhke- ja väljatõmbekanalid ja ventilatsiooniagregaadis toimub heitõhu soojuse ülekandmine sissepuhutavale õhule (Joonis 7.5). Kui on võimalik sissepuhke ja väljatõmbekanal viia füüsiliselt ühte kohta, siis kasutatakse ventilatsiooniagregaatides tänapäeval enamasti võimalusel rootorsoojustagastit (vt ka Joonis 7.6). Samas, on teatud kohti, kus on vaja kasutada plaatsoojusvahetit (vastuvoolu või ristivoolu, vt ka Joonis 7.7). Soojuse ülekandmine võib toimuda ka vahesoojuskandja abil, mis annab nt võimaluse paigaldada sissepuhke- ja väljatõmbeagregaat erinevatesse kohtadesse



Joonis 7.5 Ühine sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem.

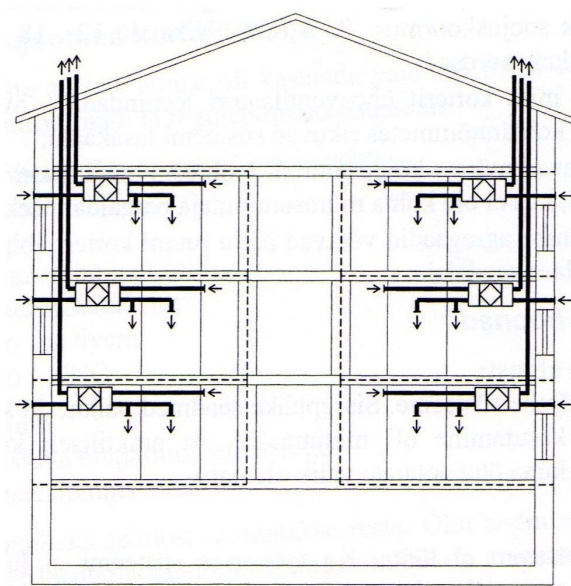
Joonis 7.6 Soojustagastite põhiliigid²¹²¹ E. Abel, H. Voll. Hoonete energiatarve ja sisekliima. Presshouse, 2010.

Joonis 7.7 Plaatsoojusvahetite põhiliigid²²

Sageli on kortermajade renoveerimisel praktikas probleemiks tsentraalse ventilatsioonisüsteemi korral sissepuhke- ja väljatõmbekanalite rajamine. Üheks võimaluseks on rajada sissepuhkekanalid hoone välisseinale täiendava seinaisolatsiooni alla ning väljatõmbekanalina ära kasutada olemasolevat loomuliku ventilatsiooni šahti. See eeldab põhimõtteliselt hoone kompleksset renoveerimist.

7.1.2 Lokaalne sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem

Erinevatel hoone osadel on oma sissepuhke- ja väljatõmbesüsteem. Alternatiivina võib kasutada ka hoone (korteri) seina siseküljele paigaldatavaid soojustagasteid, kus sissepuhke- ja väljatõmbeavad puuritakse seina. Sellised süsteemid on valdavalt ruumipõhised, kuid teatud konfiguratsioonide korral on võimalik tagada ka õhu liikumine läbi mitme ruumi (Joonis 7.8 - Joonis 7.10).



Joonis 7.8 Lokaalne korteripõhine sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem.



Seinasisene paigutus



Seinapealne paigutus

Joonis 7.9 Lokaalne toapõhine sund sissepuhke-väljatõmbe süsteem seinalle või seina paigaldatuna.

²² M. Merevoo. Passiivmaja ventilatsioon. Keskkonnatehnika 6/2010.

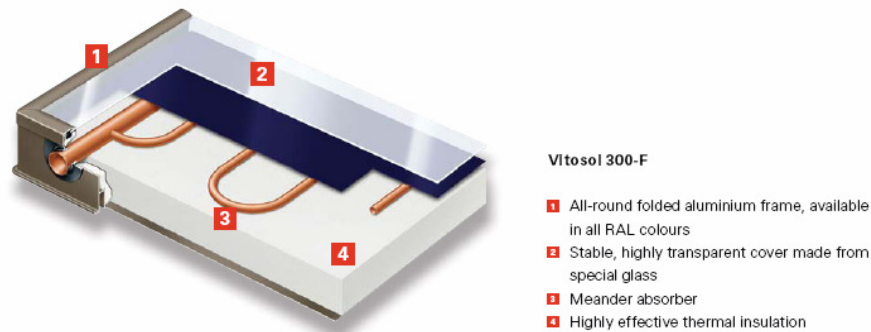


Joonis 7.10 Seina(le) paigaldatava lokaalse sund sissepuhke-väljatõmbe süsteemi välis- ja seestvaade.

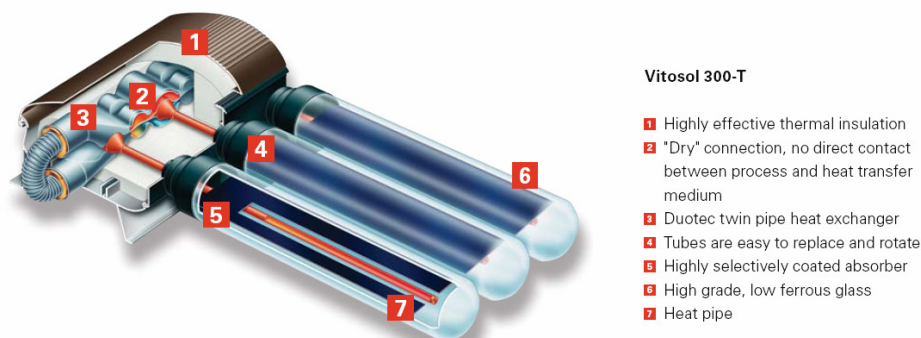
8 Alternatiivsed lahendused soojusvarustuses

8.1 Päikesekollektorid hoonete soojusvarustuses

Käesolevas ülevaates vaatame päikesekollektorite (-paneelide) kasutamist hoonete kütmiseks ja sooja tarbevee valmistamiseks. Selliseid päikesekollektoreid nimetatakse ka päikesepaneelideks või termopäikesepaneelideks, mis omakorda jagunevad lame- ja vaakumkollektoriteks (vt ka Joonis 8.1 ja Joonis 8.2).



Joonis 8.1 Lamekolektor.²³



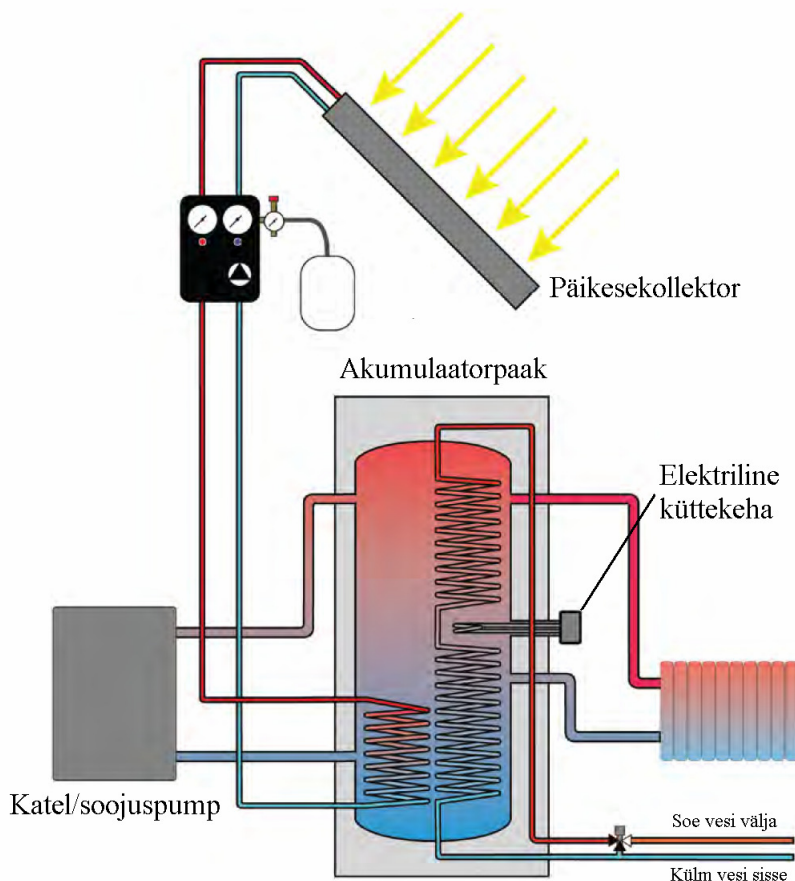
Joonis 8.2 Vaakumkolektor.²⁴

Päikesekollektorite juures on oluline nende energiatootlikkus. Üheks ühtseks võimaluseks erinevate päikesepaneelide energiatootlikkuse võrdlemiseks on sertifikaat *Solar Keymark* (<http://www.estif.org/solarkeymark/>), mis on näiteks Saksamaal kohustuslik, ja mida peetakse Euroopa päikesepaneelide üheks kvaliteedimärgiks.

Päikesepaneele ei saa kasutada ilma teise soojusallikata. Neid kombineeritakse süsteemi koos soojuspumpadega, kateldegaga jne (Joonis 8.3).

²³ Viessman.

²⁴ Viessman



Joonis 8.3 Päikesekollektor koostöös muu soojusallikaga.²⁵

Kohila ärikeskuses on päikesepaneelid kombineeritud nt koos pelletikatlamaajaga (Joonis 8.4).



Joonis 8.4 Kohila ärikeskuse soojusvarustuse süsteem.²⁶

Tallinnas, Kauge 4 sotsiaalmajas on päikesepaneelid kombineeritud koos õhk-vee soojuspumbaga ja kaugküttega (Joonis 8.5).

²⁵ <http://www.solgruppen.se/katalog.htm>.

²⁶ K. Karming. Vastvalminud Kohila ärikeskuses toodavad sooja vett ning aitavad hoonet kütta vaakum-päikesepaneelid. Keskkonatehnika 5/2009, lk 26-29.

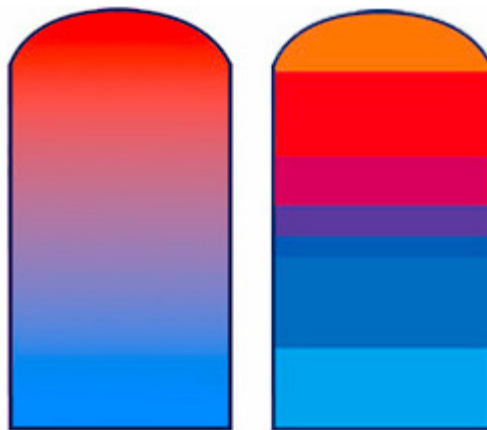


Joonis 8.5 Päikesepaneelid sotsiaalmajutuskeskuse hoone Kauge 4 katusel.

Päiksepaneele võib kasutada nii hoone küttesüsteemis kui ka sooja vee valmistamiseks aga ka ainult sooja tarbevee valmistamiseks.

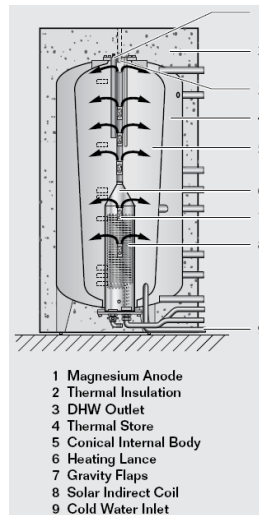
Päikesepaneelide kasutamise üheks eelduseks on akumulatsioonipaakide kasutamine päikeseenergia salvestamiseks. Iga hoone korral on nende vajalik suurus ja paigutusvõimalused erinevad.

Akumulatsioonipaakide korral on eelistatav lahendus kihistuva salvestamisega akumulatsioonipaagid (vt Joonis 8.6 ja Joonis 8.7). Kihistumise salvestamisega paakide korra on tekivad erinevate temperatuuridega kihid, kus kõige kõrgema temperatuuriga vesi on üleval ja seda hakatakse esimese järjekorras tarbima.



Joonis 8.6 Tavaline (vasakul) vs kihiline (paremal) salvestamine.²⁷

²⁷ Ratiotherm, <http://www.ratiotherm.de>



Joonis 8.7 Üks võimalik kihistuva salvestamise tehniline lahendus.²⁸

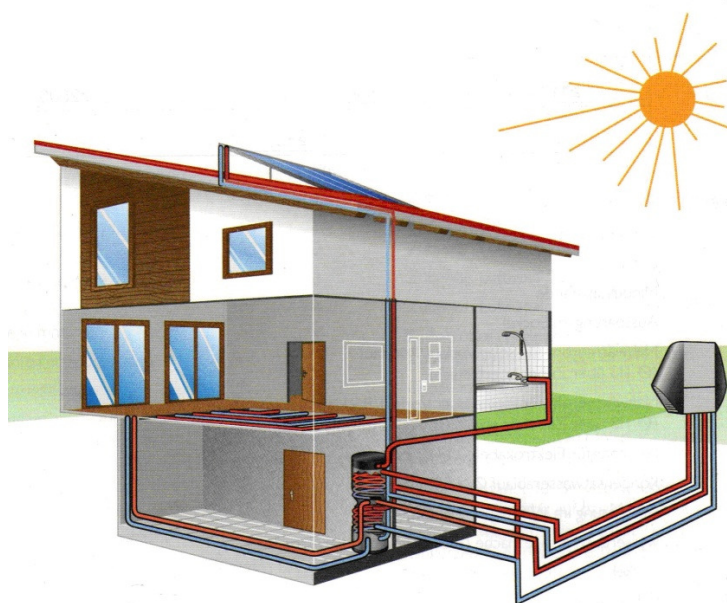
8.1.1 Soojuspumbad hoonete küttesüsteemis

Soojuspumpi võib soojusallika ja keskkonna, millele soojusallika soojus üle kantakse, alusel jagada põhiliselt neljaks:

- Maasoojuspump (pinnases ehk maakontuuris ehk soojusallikas eraldunud soojus antakse üle hoone vesikesküttesüsteemile),
- Õhk-vesi soojuspump (välisõhu ehk väliskeskkonna soojus antakse üle hoone vesikesküttesüsteemile),
- Vesi-vesi soojuspump (nt kanalisatsioonivee soojus antakse üle hoone vesikesküttesüsteemile).
- Õhk-õhk soojuspump (siseõhu ehk sisekeskkonna soojus antakse üle hoonesse puhutavale õhule),

Ülevalpool toodud liigituses võiks antud aruande kontekstis vaadelda kolme esimest. Maasoojuspumpasid saab kasutada kas koos maakontuuriga või siis heitõhu soojuse ärakasutamiseks koos vesi-glükool kalorifeeriga. Maakontuuri kasutamine eeldab piisava vaba pinna olemasolu maakollektori paigaldamiseks, mistõttu linnatingimustes ei ole see tiheasustusega alal korterelamute korral üldiselt rakendatav, võrreldes objektidega, kus on piisavalt vaba maad hoone läheduses aga küll. Võimalik oleks puurida ka vertikaalsed šahtid (nn kaevud, sügavusse kuni paarsada meetrit), kuid linnatingimustes selleks vaevalt luba antakse. Kanalisatsioonivee soojuse ärakasutamine eeldab piisavat ja küllaltki ühtlast veehulka ööpäeva lõikes, mis oleks mõeldav näiteks suuremates hotellides, elamutes, haiglates.

²⁸ Buderus.



Joonis 8.8 Päikesepaneelide ja õhk-vesi soojuspumpsüsteemi näide.²⁹

8.1.2 Ventilatsiooniõhu kasutamine hoonete kütteks soojuspumpade abil

Võib juhtuda, et loomuliku ventilatsiooniga hoonete või siis ainult sundväljatõmbega ventilatsiooniga hoonete korral ei ole enamasti tehnilis-majanduslikult põhjendatud sundsissepuhke-väljatõmbe soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine. Üheks alternatiiviks on heitõhu soojuse ära kasutamine soojuspump tehnoloogia abil. Siinjuures tuleb märkida, et sellised süsteemid saavad enamasti töötada ainult koos teiste kütteviisidega, nt kaugküte, lokaalkatlamaja. Kui ainult sundväljatõmbega süsteemid on varustatud värskõhuklappidega, siis nõukogudeaegsed hooned, kus värsk õhu juurdevool oli ette nähtud läbi ebatiheduste, tuleb süsteemi toimimiseks varustada värskõhuklappidega. Samuti paigaldatakse reguleerimisklapid väljatõmbele. Sellise süsteemi rakendamisel tuleb arvestada ka hoone küttesüsteemiga ja selle temperatuurigraafikuga. Kindlasti tasuks majandusliku sellisele lahendusele alternatiivina kaaluda nt õhk-vesi soojuspumpade kasutamist. Sellise süsteemi üheks riskiks on värskõhuklappide sulgemine elanike poolt, mistõttu ei saavutata eeldatavat soojuse tagastust.

8.1.2.1 Maasoojuspump

Ventilatsioonikorstnatele paigaldatakse kalorifeerid, milles voolab vesi-glükool lahus, mis soojeneb heitõhu soojuse arvelt kalorifeeris. Vesi-glükooli lahus suunatakse keldris asuvasse maasoojuspumpa, millega toodetakse soojust kütteks ja sooja tarbevee valmistamiseks.

8.1.2.2 Õhk-vesi soojuspump

Ventilatsioonikorstnatest väljuv heitõhk juhitakse õhk-vesi soojuspumpa ning sõltuvana õhukogustest võib tekkida vajadus ka välisõhu juurdevõtuks, et tagada vajalikku õhuhulka soojuspumba tööks. Soojuspumba poolt toodetud soojust saab rakendada nii hoone kütteks kui ka sooja tarbevee valmistamiseks.

On olemas ka rakendusi, kus nt ühe eramu korral nii hoone kui basseiniruumi heitõhk pärast soojustagastust juhitakse õhk-vesi soojuspumba õhuvõtukanalisse, kuna pärast soojustagastust

²⁹ Wärmepumpen-Guide 2009. Alpha-Innotec.

on heitõhu temperatuur ikkagi kõrgem välisõhutemperatuurist. Sellega asendatakse osa külma õhku soojema õhuga.

9 Hooneautomaatika

Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide juhtimiseks on soovitatavat rakendada hoone automaatikat. Hoone automaatikasüsteemi võib liita ka valgustuse, läbipääsu-, valve jt süsteemidega. Sellisel juhul on alamsüsteemide informatsioon olemas juhtimissüsteemis ja alamsüsteemide töö on seeläbi optimeeritud. Kui nt kütte- ja jahutussüsteemi juhtimiseks on eraldi süsteemid, siis pole harvad olukorrad, kus mõlemad süsteemid töötavad paralleelselt. Selline süsteemide üksteisele vastutöötamine toob kaasa põhjendamatult kõrged rahalised kulutused. Hoone automaatika korral on tähtis iga süsteemi õige häälestamine ja õige etteantavate suuruste valik, mille juures tuleb arvestada ka hoone kasutusprofiili. Hoone automaatikasüsteemiga on võimalik ühendada süsteemiväliseid infoallikaid nagu kalender (nädalapäevade ja riigipühade infoga) ja ilmateade (integreerida eGain rakendus), mis parandavad juhtimise kvaliteeti.

Hooneautomaatika üheks osaks on ka nt kaugjuhitavad termostaatventiilid, mille abil on võimalik seadeväärtusi programmi sisestada ja sellega välistada inimkäitumisest tuleneva „unustamise“, st sagedasti keeratakse termostaatventiil maksimumi peale ja unustatakse ning sellega kaasneb ülekütmine.

Ühiskondlike ja kontorihoonete korral on kaasaegseks hooneautomaatika lahenduseks kujunenud kütte- ventilatsiooni ja jahutuse ruumipõhine reguleerimine, st automaatikasüsteem võimaldab iga ruumi sisekliima parameetreid ette anda ja muuta ühest juhtarvutist. Selline juhtimissüsteem võib maksta kuni ca 40 000 krooni ruumi kohta.

10 Passiivmaja kontseptsioon

Säästlikku ehitust iseloomustab arvestamine geograafiliste eripäradega ja loodusega. Säästlik hoone on nõ tavamajast paremini soojustatud ja lõuna küljel on rohkem aknapinda kui ülejäänud ilmakaartes. Paksud seinad hoiavad külmal ajal maja sooja ja palaval ajal jahedana ning lõunasse pööratud aknad lasevad talvel rohkem soojust sisse. Energiatõhus maja vajab võimalikult vähe tehnovõrkude kaudu sisenevat energiat³⁰.

Passiivmajaks (*passive house*) loetakse hoonet, millel on väga väike energiatarve ehk küttevajadus aga samas kindlustatud nõuetekohane sisekliima ja mugavus. Küttevajadust mõõdetakse aastas ühe ruutmeetri kohta kuluva soojusega. Kesk-Euroopas peab passiivmaja neto küttesoojusvajadus olema väiksem kui **15 kWh/(m² a)** ja kogu primaarenergia vajadus, mis sisaldab ka sooja vee ja majapidamisseadmete energiavajaduse, alla **120 kWh/(m² a)**.

Passiivmaja karp on õhutihe, ilma külmasildadeta ja väga hästi soojustatud. Üldjuhul Kesk-Euroopa tingimustes on piirete U-arv vahemikus 0,1-0,2 W/(m²K), mis teeb soojustuse paksuseks kuni 40 cm.³¹ Põhjamaade tingimustes on tõenäoliselt vaja paksemat soojusisolatsiooni. Lõunasse suunatud aknad (avatäite U-arv <0,8 W/m²K) on kolmekordse klaasiga ja kogu vajaminev õhk suunatakse hoonesse ventilatsioonitorude kaudu. Passiivmajades on ainuvõimalikud soojustagastiga ventilatsioonisüsteemid (väljuva sooja õhuga soojendatakse sisseimetavat jahedat õhku), mille soojustagasti hetkeline temperatuuritegur on vähemalt 75%. Teine kriteerium passiivmaja ventilatsiooniseadme valikul on elektrierikulu, mis ei tohi olla üle 0,45 Wh/m³. Peale tõhusa soojustagasti ja energiasäästlike alalisvooluventilaatorite peavad passiivmaja ventilatsiooniagregaadil olema filtrid, juhtimisautomaatika, automaatne suvine möödaviik, utilisaatori külmumiskaitse, mürasummutid, kondensaadi äravool, soovitavalt ka niiskus- või CO₂-andur.

Soojusvajadus on seega viidud nii madalale, et eraldi "aktiivsest" küttesüsteemist (katlast, korstnast, küttetorustikust) saab loobuda. Väljatõmbeõhus sisalduv soojus tagastatakse osaliselt hoonesse (aasta lõikes üle 95%) ning vajalik lisasoojus kaetakse vabasoojuse arvelt - läbi lõunakaare akende ruumi siseneva päikeseenergia ning elektriseadmete ja inimeste soojaeraldus. Akende U-arvud tagavad soojusliku mugavuse akende juures viibival inimesel ka ilma „aktiivsete“ küttekehadeta akende all.

Tavaliselt jahutatakse passiivmaju ehituslike võtetega: varikatuste, lamellide, ribakardinate ja ruloode abil või öösiti jahutades (aknaid avades, õhuvahetust suurendades).

Passiivmaja ventilatsiooniseade võib olla kas eraldi või kuuluda kompaktseadme koosseisu. Kompaktseade sisaldab peale ventilatsiooniseadme akumulationipaaki, heitõhusoojuspumpa, sooja tarbevee soojusvahetit, sissepuhkeõhukalorifeeri ja ühendust päikeseküttesüsteemiga.³²

Eestis ei ole veel kokku lepitud, milline küttesoojuse vajaduse väärtus võiks olla meil passiivmaja defineerimise aluseks. Kui Kesk-Euroopas peetakse praegusel ajal nn energiatõhusaks hooneks (*low-energy house*) hoonet, mille aastane küttevajadus on 40 kWh/(m² a), siis see tase on olnud aastate jooksul muutuv ulatudes 30 – 70 kWh/(m² a).

³⁰ Karol Kallas "Eluase ilma kommunaalkuludeta pole pelgalt unistus", Eesti Innovatsioonajakiri HEI – Hea Eesti Idee, nr 24, oktoober 2010. Lk. 28-31.

³¹ K.-H. Fingerling, W. Feist, J. Otte, R. Pfluger. Konstruktionshandbuch für Passivhäuser.

³² Marko Merevoo "Passiivmaja ventilatsioon", Keskkonnatehnika 6/10. Lk. 22-24.

Eesti ja Põhjamaade kliimat arvestades võiks meil olla passiivmaja neto küttevajaduse piirnormiks 40-45 kWh(m² a).