

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINNA KOLLEDŽ**

Kinnisvara haldamine

Rene Uuspõld

**ÄRIHOONETE ENERGIATÕHUSUSE JA KASUTAJASOBIVUSE
ANALÜÜS**

Lõputöö

Juhendaja: Prof Roode Liias

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. SISEKLIIMA	4
1.1 Soojuslik sisekliima õhu kvaliteet ning puhtus	4
1.2 Sisekliima parameetrid	5
1.3 Siseõhu saastatus	6
1.4 Nõuded sisekliimale	11
1.5 Niiskussisaldus ja suhteline niiskus õhus	13
1.6 Sisekliima mõju inimesele	15
1.7 Sisekliima määrgis	16
2. ENERGIATÕHUSUS	17
2.1 Hoonete energiakasutus	17
2.2 Hoonete otstarve ja kvaliteet	19
2.3 Olemasolevad hooned	21
2.4 Energiatõhus renoveerimine	25
2.5 Energiatõhus maja	26
3. HOONE ENERGIATARBIMINE JA SELLE VÄHENDAMINE	29
3.1 Hoone energiakasutuse hetkeseis	30
3.2 Hinnang hoone energiakasutuse kohta	37
3.3 Ülevaade säästuettepanekutest	43
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
VIIDATUD KIRJANUDS	48

SISSEJUHATUS

Tänapäeva inimesed viibivad suurema osa oma eluajast siseruumides, kas kodudes või töökohtadel. Väga palju on olemasolevaid hooned, kus probleemiks on liigne energiatarbimine, energiakadu on hoonetel väga suur ning hoonete kasutajad maksavad ka energia eest, mida nad realselt ei kasuta. Võitjaks selles olukorras on energia müüa. Sisekliima peab olema tagatud selliselt, et inimesed tunnevad ennast hoones hästi, sisekliima puudulikkus võib tekitada inimestel väsimust ja halba enesetunnet. Selliselt on raske inimesel teha hoones planeeritud tegevusi, kui sisekliima ei ole rahuldav. Tänapäeva inimesed lähtuvad endale kodu valides elukeskkonna väärtustamisest. Kuna küttehinnad järjest kallinevad, siis on väga tähtsaks saanud hoonete energiatõhusus ja energiasäästlikkus. Tähelepanu tuleks pöörata olemasolevate hoonete energiatarbimise vähendamise võimalustele ning uute hoonete energiatõhusaks ehitamise tähtsusele.

Lõputöös selgitatakse välja, kuidas neis ruumides, kus inimesed veedavad suurema osa oma ajast, tagada hea sisekliima. Käesolev töö loob ülevaate energiatarbimisest ja selle vähendamisest olemasolevates hoonetes ning minimeerimisest uutes hoonetes. Töö eesmärk on uurida ühe olemasoleva hoone energiatarbimist, teha ettepanekud selle hoone energiatõhusamaks muutmisele ja sisekliima parandamisele ning välja selgitada, kui pikaks kujuneb investeeringute tasuvusaeg ja kas energiasääst on märkimisväärne.

1. SISEKLIIMA

1.1 Soojuslik sisekliima õhu kvaliteet ning puhtus

Sisekliimaga seonduvad mitmed inimese heaolu mõjutavad parameetrid. Järgnevalt keskendume soojuslikule sisekliimale, õhu puhtusele ja kvaliteedile, ehk siis teguritele, mis mõjutavad otseselt sisekliimat ning hoone kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi lahendusi. Inimese soojusliku heaolu tunnetamist mõjutavad soojusliku sisekliima parameetrid.

Hoonete energiakulu sõltub oluliselt sisekliima teguritest (temperatuur, ventilatsioon ja valgustus) ning sealhulgas hoone tehnosüsteemide projektist ning kasutamisest. Sisekliima mõjutab ka hoone kasutajate tervist, töö tootlikkust ning mugavust. Viimased uuringud on näidanud, et halva sisekliima poolt tekitatud kahju tööandjale, hoone valdajale ja ühiskonnale tervikuna ületab tunduvalt hoone energiakasutuse maksumust. Samuti on ära näidatud, et standardis toodud parameetritele vastav sisekliima parandab töö või õppimise tulemuslikkust ning vähendab haigestumust. End ebamugavalt tundvad hoone kasutajad otsivad võimalusi hoone sisekliima parandamiseks, mis tõenäoliselt suurendavad hoone energiakasutust. Energiamärgisel ilma sisekliima märgiseta ei ole mõtet. Seetõttu on vaja täpsustada sisekliima parameetreid projekteerimiseks, energiaarvutusteks ning hoonete toimivuse arvestamiseks. (12)

Õhu kvaliteedi mõistes on oluline, et õhk oleks puhas saasteainetest, millel võiks sissehingamisel olla inimestele kahjulik mõju. Õhu puhtus on tähtis spetsiaalsetes operatsioonide ja protsesside puhul, kus teatud saasteained ei tohi esineda. Niipea kui ruum hõivatakse, saab õhu hea kvaliteet esmatähtsaks. Olukordades, kus õhu puhtust peetakse tähtsaks, on tavaliselt tarvis suurt õhuvoolu ning õhu efektiivset puhastamist. Sellistel puhkudel on õhu kvaliteet tihti parem kui nõutud. (1, lk 35)

- Soojuslik mugavus sõltub: siseõhu temperatuurist; pindade temperatuurist; siseõhu niiskusest; siseõhu liikumisest.

- Õhu kvaliteet sõltub: saasteainete määrast, mis võivad inimesele olla ohtlikud või ärritavad. Saasteaineid on kahte tüüpi – tahked ja gaasilised osakesed.
- Õhu puhtus sõltub: saasteainete määrast, mis võivad mõjutada või kahjustada teatud protsesse. Ka siin on saasteaineid kahte tüüpi – tahked ja gaasilised osakesed. (1, lk 35)

Tahkete ja gaasiliste saasteosakeste eristamine on oluline, sest tahked osakesed ja gaasid moodustuvad erinevalt ning teatud määral ka käituvad õhus erinevalt. Tahkeid osakesi on tehniliselt palju lihtsam õhust välja filtreerida kui gaase. Kõige olulisem on meeles pidada, et ruumis, kus viibivad inimesed, peavad soojuslik sisekliima ja õhu kvaliteet alati vastama tervise ja heaolu nõuetele. Vastavalt ruumi otstarbele võivad nõuded sisekliimale olla erinevad.

Elamu sisekliima on kompleksne mõiste. See ühendab endas õhu füüsikalised parameetrid (temperatuur, niiskus, õhuliikumise kiirus), saasteainete sisalduse, müra ja mitmed psühhosotsiaalsed tegurid. Nende hulgas ongi keskne koht õhukvaliteedil kui tervikul. Õhurežiimi kontrolliks peaks ruumis olema korralik termomeeter ja niiskusemõõtja. (8)

Muuseumides, raamatukogudes ja spetsiaalsetes laboratooriumites tuleb tihti õhu niiskust hoida teatud piirides. Haiglate intensiivravi osakondades tuleb eri operatsioonidel hoida temperatuur ühtlasena ja vajalikul tasemel, õhuniiskus suhteliselt kõrgena ning saasteainete kontsentratsioon madalana. Näiteks seoses farmaatsia, mikrobioloogia ja mikroelektroonika alal tootmisega ja uurimisega peab olema võimalik täpselt kontrollida nii temperatuuri kui niiskust ning tagada kõrge puhtusastmega õhk. (1, lk 35)

1.2 Sisekliima parameetrid

Sisekliima peab olema tagatud selliselt, et inimesed tunnevad ennast hoones hästi, sisekliima puudulikkus võib tekitada inimestel väsimust ja halba enesetunnet. Selliselt on raske inimesel teha hoones planeeritud tegevusi, kui sisekliima ei ole rahuldav.

Halb sisekliima väljendub selles, et tunnete ruumides viibides ebamugavust või tekivad terviseprobleemid. Sümptomid taanduvad ja kaovad järk-järgult, kui olete hoonest lahkunud.

Halb sisekliima võib mõjutada mitmete haiguste kulgu, eelkõige puudutab see hingamisteede nakkusi. (9)

Sisekliima nõuded tuleb alati defineerida ja kirjalikult esitada enne projekti alustamist. Hästi läbi mõeldud ning selgelt defineeritud nõuete loetelu on väga oluline hoone hea sisekliima saavutamisel, eriti seal, kus nõuded käivad mitme kliimaparameetri kohta. Tehniliste nõuete loetelu moodustab osa tulevase projekti alusest. On tähtis, et sisekliimat defineeritakse viisil, mis lubab soovitud parameetreid planeerimisel aluseks võtta. Põhilise tähtsusega on ka, et sisekliima parameetritele esitatud nõudmisi oleks võimalik valminud hoones üle kontrollida. Järelkult peavad kliimaparameetrid olema mõõduka tööpanusega mõõdetavad. (1, lk 36)

Soojusliku sisekliima tajumine on inimestele oluline, kuigi erinevate inimeste hinnangud sisekliimale võivad erineda. Õhu kvaliteedi puhul on inimese taju küll oluline, kuid ei ole alati ainsaks piisavaks hindamiskriteeriumiks. Ohtlikud saasteained, nagu radooni tütarproduktid, süsinikoksiid ja õhus hõljuvad nakkusohtlikud mikroorganismid ei ole inimesele tajutavad. Lõhnavaba õhk ei tähenda alati, et õhk on hea kvaliteediga. See ei ole ka õhu puhtuse kriteeriumiks näiteks laboratooriumides, operatsiooniruumides või tööstuslikes protsessides. Eriti 1960-ndate aastate algusest saadik on läbi viidud palju uuringuid, kuidas inimesed sisekliimat tajuvad ning kuidas erinevad sisekliima parameetrid neid mõjutavad. (2, lk 23)

1.3 Siseõhu saastatus

Siseõhu kvaliteeti mõjutavad peamised tüüpilised hoonesisesed saasteallikad:

- ehitusmaterjalid ja sisustus
- kontoriseadmed
- inimesed
- allergeenide allikaid
- sissepuhkeõhk

Lisaks hoonesisestele allikatele võivad ka välisallikad tekitada õhusaastet, mis siseneb hoonesse ventilatsioonisüsteemi kaudu. Mitmed tegurid mõjutavad lenduvate orgaaniliste ainete eraldumist materjali pinnalt. Näiteks emissiooni teatud tüüpi saepuruplaatidelt mõjutavad

temperatuur ja niiskus. Viimastel aastatel on suurt tähelepanu pööratud materjalide ja sisustuse emissioonidele. Tänapäeval on täiesti võimalik vältida materjale, mis põhjustavad soovimatuid emissioone. Uutes hoonetes esinevad probleemid on tihti põhjustatud kättesaadava oskusteabe eiramisest või mitteprofessionaalselt läbi viidud ehitustöödest. Gaasiliste orgaaniliste ainete emissioon materjalidest on suurem kui materjalid on uued ja väheneb aja jooksul. Tavaliselt vähenevad emissioonid pärast sisepindade viimistlemist 2 kuni 6 kuu jooksul poole võrra. Hoolimata faktist, et emissioonid ehitusmaterjalidest kahanevad suhteliselt kiiresti, on oluline juba alguses valida õiged ehitusmaterjalid. Seepärast peaks iga projekti planeerija valima sertifitseeritud ehk tootja või importija poolt põhjalikult testitud materjalid. Sertifikaat peaks endas sisaldama informatsiooni materjali koostises leiduvate ainete ja emissioonide kohta, mis võivad mõjutada õhu kvaliteeti. (1, lk 47)

Niiskete materjalide kasutamine võib uutel hoonetel põhjustada niiskuskahjustusi. Need võivad projekteerimisvigade tõttu ilmned ka hiljem. Kuna mõned ehitusmaterjalid on niisked, on alati hallituse ja sellest eralduvat ebameeldivat lõhna ja terviseriske põhjustavate ainete tekke oht. Hoone peab olema projekteeritud niiskusest vabana ja ehitatud nii, et see ka jääks niiskusevabaks.

Energiaauditite tegemisel on üha enam ilmnenu probleeme hoonete sisekliimaga, mis põhiliselt väljendub hallituse tekkega ruumides ja millele loob soodsa pinna niiskuse kondenseerumine ehitise sisepindadele. Hallitus, kuid ka teised saasteained mõjuvad halvasti nii inimese tervisele kui ka hoone konstruktsioonidele. (10)



Joonis 1. Hallitus (10)

Probleemid võivad olla põhjustatud mitmetest teguritest, millest suurimaks ja tihedamini esinevaks võib lugeda vanade hoonete ventilatsioonisüsteemide puudulikkusest või uute hoonete ventilatsioonisüsteemi võimsuse vähendamisest kasutajate poolt. Süsteemi tööd mõjutavad ka näiteks sellised tegurid, nagu ilmastikuolud ja inimeste elutegevus. (11)

Hallitus ei eralda ainult ebameeldivaid lõhnu, vaid on ka tervisele ohtlik. Näiteks hallitusprobleemiga hoonetes elanud lastel on suurem astmanähtude arenemise oht. (3, lk 48) Siseõhu niiskusesisaldus sõltub välisõhu temperatuurist ja niiskusest, siseõhu temperatuurist, ruumis leiduvast ülemäärasest niiskusest ja ventilatsiooni õhuvoolu suurusel. Siseõhus leiduv niiskus tuleb mitmest allikast, seal hulgas inimestelt aurumisest, pesemisest, vanni võtmisest, söögitegemisest, taimedest jne. Niiskuse eraldumine võib olla ka hooneosade kuivamise tulemus. Selline niiskus kaob aja jooksul, eeldusel, et seest või väljast ei tule lisaniiskust näiteks lekkivatest veetorudest või pragudest välisseinas. Suurem osa ehitusmaterjale imab olulisel määral niiskust ka ümbritsevast õhust. Niiskusesisalduse tõus mõjutab näiteks emissioonide taset saepuruplaadist.

Kontoriseadmed mõjutavad mitmel viisil sisekliimat nii töökohtadel kui kodudes. Need tekitavad elektri- ja elektromagnetvälju ja võivad samuti eraldada siseõhku mitmesuguseid saasteaineid. Näiteks laserprinterid ja koopiamasinad eraldavad märkimisväärses kogustes osooni. Need

masinad on tihti varustatud osooni eemaldavate filtritega. On küllaltki selge, et mitmete kontori seadmete soojad plastpinnad eraldavad lenduvaid aineid, eriti uena. (1, lk 47)

Inimesed eraldavad nii gaasilisi kui ka tahkeid osakesi, näiteks süsihappegaasi, veeauru, lõhnaaineid ja nahaosakesi. Üldistavalt kutsutakse inimeste poolt õhku paisatavaid eraldisi bioefluentideks. Riidetelt eraldub olenevalt kandja aktiivsusest, riiete kulumisastmest ja isiklikust hügieenist kangakiudusid ja muid saasteaineid. Inimesed ja nende tegevus on tavaliselt kõige suuremaks tahkete ja gaasiliste saasteainete allikaks siseõhus. (1, lk 47)

Kui õhuhaarade avad asetsevad nii, et autode heitgaase või tolmu ja teisi saasteaineid saab hoonesse tõmmata, siis on õhk saastunud juba enne ventilatsioonisüsteemi sisenemist. Tahkeid saasteosakesi saab eemaldada efektiivsete filtrite abil, kuid gaasilisi aineid mitte. Kui õhuhaarade ja filtrite vahel asuv kanal ja filter märguvad, tekib mikroorganismide kasvu oht. Need võivad tekitada gaase ja lõhnu, mida ei saa filtritega eemaldada. Välisõhu filtrid, mis on paigutatud vihmale ja lumele avatult, võivad kiiresti kaotada võime eemaldada saasteaineid ja muutuda hoopis nende allikaks. Filtrite selline paigutus on elementaarne viga, mida ei tohiks kunagi esineda. Mikroorganismide bioloogilist kasvu õhukanalites ja sellega kaasnevaid ebameeldivaid lõhnu võib põhjustada orgaaniliste ainete ja niiskusega saastunud sissepuhkeõhu süsteem. Võimalus selleks on väike, kui filtri eest korralikult hoolitsetakse. Sissepuhkeõhu kanalite puhtust tuleks kontrollida regulaarselt, näiteks iga-aastaselt filtri vahetusel. Väljatõmbeõhu kanalid saastuvad suhteliselt kiiresti. Kui tahetakse näidata, et õhukanalid on saastunud, siis tehakse tihti pilte väljatõmbeõhu kanalite sisemusest, kuid seda fakti alati ei mainita. See on soojustagastiga süsteemi puhul eksitav, kuna sel juhul pole väljatõmbeõhk otseselt seotud sissepuhkeõhu kvaliteediga. Süsteemides, kus kasutatakse tagastusõhku, see tähendab, et segatakse väljatõmbeõhku sissepuhkeõhuga, paikneb filter alati pärast segamisosa. Kui aga filter on halvas seisukorras, siis võivad tahked saasteosakesed levida väljatõmbeõhust sissepuhkeõhku. Nagu mainitud, ei püüa õhufiltrid tagastusõhust kinni gaasilist saastet. See levib läbi õhufiltri sissepuhkeõhku. (1, lk 48)

Paljudes Põhja-Euroopa riikides kasutatakse tavaliselt soojustagasteid, mitte segamisosi. Näiteks Rootsis ei ole tavalistes hoonetes segamisosi kasutatud juba aastaid. Järelikult sisaldab sissepuhkeõhk ainult välisõhku. 1970-ndatel aastatel ja varemgi ehitatud ventilatsioonisüsteemides olid tagastusõhuga süsteemid tavaliselt kontorites ja sarnastes

ruumides, et talvel soojavajadust vähendada. Tänapäeval on aga sellised süsteemid suurel määral soojustagastite vastu välja vahetatud. (1, lk 51)

Ventilatsioonikanalite süsteem on tavaliselt valmistatud tsingitud plekist, mis ise õhku ei reosta, eeldusel, et kanalid on paigaldamisel puhtad. Tänapäeval peaks olema iseenesestmõistetav, et ventilatsioonikanalid toimetatakse ehitusplatsile hästi puhastatuna ja kõik kanalisüsteemi osade avaused suletuna. Need tohib avada vahetult enne kanalite paigaldamist, et kindlustada kanalisüsteemi puhtus. On oluline, et kanalite paigaldaja ja hoone ehitaja kvaliteedisüsteemid sobiks omavahel kokku, et ventilatsioonikanalid jääks kuni paigalduseni korralikult kaetuks.

Ehitusmaterjalidest, nagu betoonist või kipsist ehitatud ventilatsioonikanalid võivad aja jooksul põhjustada probleeme õhu puhtusega. See on täiesti vale lahendus, kuna selliseid õhukanaleid ei ole võimalik kehtvalt tihedaks muuta ja aja jooksul tekib probleeme õhu puhtusega. Mainitud materjalid võivad eraldada gaasilisi saasteaineid, kanalid ei ole täielikult õhutihedad ning nende pinnastruktuur võib kinni püüda saasteaineid, mille peal võivad mikroorganismid hakata jõudsalt kasvama. Maa-alused värske õhu sissepuhkekanalid peavad alati olema lihtsalt kontrollitavad ja puhastatavad. (1, lk 52)

Taimed muundavad süsihappegaasi hapnikuks ja võivad teatud ulatuses absorbeerida saastegaase. Ruumis võivad taimed teatud määral mõjutada õhu kvaliteeti eeldusel, et need tõesti lopsakalt kasvavad. Rootsis on läbi viidud põhjalik uuring taimede mõjust siseõhu kvaliteedile. Tulemused näitasid, et märgatavat puhastavat efekti saab luua üksnes väga suure hulga taimede abil. Tavalises kontoris oleks vaja näiteks kuusteist 75 cm kõrgust araaliat, et vähendada süsihappegaasi kontsentratsiooni. Need taimed peaks järjepidevalt kasvama, mis eeldab head valgustust. Tavalisel ajal peaks valgustus olema üle viie korra parem kui kontoriruumides tavaliselt, et seal kasvavatel taimedel oleks märgatav efekt süsihappegaasi kontsentratsioonile. Ainult süsihappegaasi kontsentratsiooni vähendamine ei paranda õhu kvaliteeti, kuna seda määravad inimeste ja muude allikate poolt tekitatud teised saasteained. Süsihappegaas on ainult õhukvaliteedi indikaator, mitte selle määraja. Järelikult ei ole võimalik taimede kasutamisega saavutada vastuvõetavat õhu kvaliteedi taset hõivatud ruumides. Teisest küljest mõjuvad taimed positiivselt inimeste heaolule ja on selles suhtes tähtsad. (1, lk 53)

1.4 Nõuded sisekliimale

Tellija lähteülesandes tuuakse nõuded, millele hoone sisekliima peab vastama. Tellija saab vajalikud lähteandmed Riigi Teatajast. Tellija peaks alati vastutama lähteülesande eest. Tellija võib küll palgata lähteülesande koostamiseks abijõude, kuid lõplikud otsused peaks alati tegema tellija ise. Seejärel on planeerijate, arhitektide, projekteerijate ja ehitajate asi nõuete täitmine tagada. Lähteülesande koostamise nõuded on olulised sisekliima tagamiseks. See tähendab, et:

- nõuded sisekliimale on kohustuslikud, st neid peab täitma kõrvalekaldumatult;
- Sisekliimale esitatud nõudeid peab olema võimalik täita projekti raamistikus nii arhitektuuriliselt, tehniliselt kui ka majanduslikult;
- Sisekliimale esitatavad nõuded peavad võimaldama luua nende täitmiseks vajalike tehniliste lahenduste süsteemi;
- Sisekliimale esitatavad nõuded peavad olema uues või renoveeritud hoones lihtsalt kontrollitavad. (1, lk 54)

Projekteerijad peavad eelöeldut vastuvaidlematult järgima. Kuna nõue isenesest on ühene mõiste, peab nõudeid alati vastuvaidlematult täitma. Nõuetest aru saamine ja kinni pidamine on nõuete formuleerimise ja kvaliteetse ehitusprotsessi põhialus. Seoses hoonete projekteerimisega on tellijal rohkem või vähem konkreetseid nõudmisi, mille täitmine on projekteerijate ja ehitajate ülesanne.

Järgnevalt on käsitletud sisekliimaga seotud nõudeid. Sõnastatult oleksid need järgmised:

- Tellija peab olema kindel, et seatud nõuded vastavad vajadusele;
- Nõuded peavad olema täpselt defineeritud, et ei tekiks ebaselgusi;
- Tellija peab olema teadlik nõuete majanduslikest, tehnilistest ja muudest tagajärgedest ja peab olema nendega nõus;
- Nõuded peavad olema sellisel viisil formuleeritud, et need moodustaks projekti põhialuse;
- Nõuete täitmist peab olema valminud hoones võimalik kontrollida. (1, lk 54)

Nagu alguses mainitud, on hoone tellija alati see, kes vastutab lähteülesande eest. Kõik teised projektist ja ehitusest osavõtjad peavad vastutama selle eest, et lähteülesandes esitatud nõuded

oleksid valminud hoones täidetud. Tellija võib loomulikult alati pöörduda spetsialistide poole, kasutada nõuandjaid jne, kuid vastutus lasub ikka temal. On väga tähtis, et tellijal oleks või ta saaks selge pildi sellest, milliseid tehnilisi-majanduslikke tagajärgi iga erinõue kaasa toob. Sellepärast on tulemuste analüüs väga oluline. Nagu öeldud, tähendab nõuete vastuvaidlematus seda, et neid tuleb kõrvalekaldumatult täita. Kui näiteks tellija esitatud nõudmistes seisab, et ruumi temperatuur peab olema $+ 22$ kraadi ± 2 kraadi, siis ei tohi see kunagi madalam või kõrgem. On vaja kalleid ja väga täiuslikke kliimaseadmeid, et neid nõudeid igas olukorras täita, eriti kui nõue kehtib välisseina äärsel alal. See võib vajalik olla ainult väga spetsiifilistes laboratooriumites, haiglate operatsioonisaalides, mõnes väga väärtuslikke esemeid säilitavas muuseumis jne. vastasel juhul ei ole see põhjendatud. (1, lk 55)

Kui aga lähteülesandes on suuremad temperatuurikõikumised lühiajaliselt vastuvõetavad, siis on selle täitmine märkimisväärselt lihtsam. Lõpptulemuseks võib olla hoone, mis igati täidab oma ülesannet, kuid on odavam, väiksema energiatarbe ja ekspluatatsioonikuludega ja tihti ka püsivalt parema kasutusotstarbega. Kui küsimus ei ole väga spetsiifilistes ruumides, on soovitatav sisetemperatuuri nõudeid välisseina äärealas täpsustada näiteks selliselt: Ruumi temperatuur peab olema $+ 22$ kraadi ± 2 kraadi, kuid vastuvõetavad on ka kõrgemad temperatuurid, kui välisõhu temperatuur on kavandatud kõrgem. (1, lk 56)

Sisekliima lubatud taseme esitamisel peab olema eelduseks, et need nõuded oleksid kontrollitavad. Valmisehitatud majas peab olema võimalik läbi viia testkontrollid, mis tähendab, et kontrolli läbiviimine ei tohi ebarealistlikult aeganõudev ja kallis olla. See on üheks põhjuseks, miks näiteks ventilatsiooni efektiivsuse taset ei ole soovitatav esitada sisekliimale esitatavate nõuete kaudu, välja arvatud väga erilistel juhtudel. Ei ole öeldud, et alati peab kontrollmõõtmisi läbi viima, aga alati peab olema realistlik võimalus seda teha.

Igas riigis on küll kehtestatud sisekliimat puudutavad riiklikud nõuded ja soovitused, kuid need erinevad riigiti. Euroopa Liit on küll välja andnud sisekliimat puudutavad standardid, kuid iga liikmesriik otsustab ise, kas ja millisel määral neid järgida. Riiklikud standardid ja määrused defineerivad üldiselt teatud taseme, mis peab olema täidetud. Mõnede hoonete puhul võivad lubatud tasemed olla rangemad, kui tellija seda vajalikuks peab ja vahel võib olla tarvis lisada nõudeid, mida standardites ja määrustes ei ole ära toodud. Pealegi ei ole määrustes ja standardites toodud nõuded alati päris adekvaatselt väljendatud. Seetõttu ei tohiks kunagi viidata

projektis ainult määrustele ja standarditele, vaid alati tuleb koostada lähteülesanne, mis moodustab projekti lähtealuse ja osa tellija ning projekteerija vahelisest lepingust. (1, lk 57)

Sisekliima hoones sõltub paljudest erinevatest teguritest: hoone omadustest ja konstruktsioonist, väliskliimast ning sellest kuidas hoonet kasutatakse. Sisekliima tagatakse kütte, ventilatsiooni ja jahutussüsteemi abil. kui soojust jääb puudu, siis varustatakse hoone soojusega, kui soojust jääb üle, siis eemaldatakse soojust, süsteem kõrvaldab hea õhukvaliteedi tagamiseks ka õhust saasteosakesi. Mida suurem on soojuse puudu- või ülejääk ning mida rohkem tuleb õhust eemaldada õhusaastet tekitavaid osakesi, seda ulatuslikumad, kallimad ja ruumi nõudvamaid seadmeid on vaja soovitud sisekliima tagamiseks.

1.5 Niiskussisaldus ja suhteline niiskus õhus

Õhu niiskust iseloomustavad:

- Niiskussisaldus, mis avaldub õhus leiduva veeauru ja kuiva õhu massi suhtena;
- Suhteline niiskus, mis avaldub õhu niiskussisalduse suhtena küllastunud õhu niiskussisaldusse samal temperatuuril. Mida madalam on samal temperatuuril õhu niiskussisaldus, seda madalam on ka õhu suhteline niiskus.

Ruumiõhu kvaliteedi hindamiseks kasutatakse tavaliselt suhtelise niiskuse mõistet. Kui ruumiõhu niiskussisaldus on sama, siis ruumiõhu temperatuuri kasvades väheneb õhu suhteline niiskus. Mida kõrgem on sama siseõhu temperatuuri juures suhteline niiskus, seda kõrgem on õhu niiskussisaldus (veeauru osarõhk). Mida kõrgem on aga niiskussisaldus, seda väiksem on inimese soojusloovutus aurustumise teel. Ruumiõhu suhteline niiskus sõltub põhiliselt välisõhu parameetritest (välisõhu niiskussisaldus), ruumi ventilatsiooniõhu vahetusest, võimalikest niiskuseraldustest ruumi ja ruumiõhu temperatuurist. (4, lk 13)

Talvisel ajal on välisõhu niiskussisaldus suhteliselt madal. Üldjuhul, mida madalam on välisõhu temperatuur, seda madalam on ta niiskussisaldus. Mida suurem on õhuvahetus ruumis, seda lähedasem on ruumiõhu niiskussisaldus sissepuhke õhu niiskussisaldusele ning kui puudub sissepuhkeõhu niisutus, siis seda lähedasem välisõhu niiskussisaldusele. Mida suuremad on niiskuseraldused ruumi, seda kõrgem on ruumiõhu niiskussisaldus. Ruumi eraldavad niiskust

näiteks inimesed, taimed, tehnoloogilised protsessid (näiteks köök). Seega, kui ruumides on talvisel ajal väikesed niiskuseraldused ning suur õhuvahetus, esineb nendes ruumides sellel perioodil madal ruumiõhu suhteline niiskus (10...20%). Suvisel ja kevad-sügisel perioodil, kui ruume ja ventilatsiooniõhku oluliselt ei soojendata, on ruumides üldjuhul tagatud suhteline õhuniiskus üle 30%. (4, lk 14)

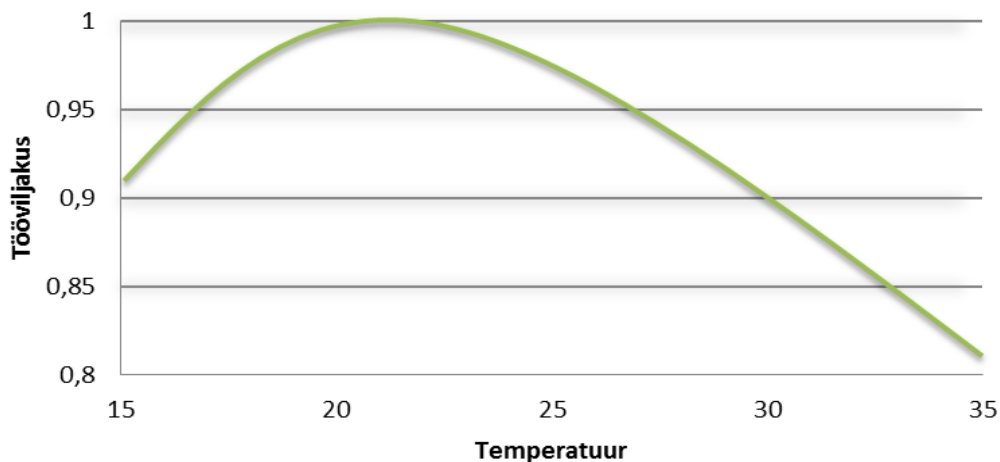
Madal suhteline niiskus soodustab inimese limaskestade kuivamist ja sellega kaasnevaid ärritusi. Talvine siseõhu kuivus on enamlevinud kontoritöötajate kaebusi sisekliima osas. Madal suhteline niiskus suurendab staatilise elektri teket, soodustab paberi- ja tekstiilitolmu eraldamist. Liigne kõrge suhteline niiskus soodustab mikroobide, bakterite ja hallituse kasvu. Mida kõrgem on ruumiõhu suhteline niiskus samal temperatuuril, seda kõrgemal temperatuuril hakkab niiskus õhust välja kondenseeruma. Näiteks kui õhu temperatuur on 22 kraadi ja suhteline niiskus 25%, siis kastepunkti temperatuur on ca +1 kraad, kui suhteline niiskus samal temperatuuril on 40, 60, 80%, siis kastepunkti temperatuur on vastavalt 7, 14 ja 18 kraadi. Seetõttu, kui hoone välispiiretes peaks esinema külmasildasid või muid ehitusfüüsikalisi probleemseid kohti, on talvisel perioodil oht, et ruumiõhu kõrge suhtelise niiskuse korral võib nendesse välispiirde kohtadesse tekkida kondensaat, mis omakorda loob soodsa pinnase hallituse ja mikroorganismide kasvuks. Sellised probleemid võivad esineda mittenähtavates kohtades. (4, lk 14) Kuigi mõõdukalt niisket õhku peetakse liiga kuivast õhust tervislikumaks ja meeldivamaks, tuleks ruumiõhu niisutamisse suhtuda ettevaatlikult, sest niisutamisega kaasnevad teatud riskid. Suhtelise niiskuse optimaalseks piirkonnaks on 25...50%. Õhu niisutamine on energiamahukas ettevõtmine ja suurendab oluliselt hoone energiakulusid.

Bürooruumides, kus üldjuhul on tegemist kerge kategooria tööga, mille korral on alalistel töökohtadel normeeritud külmal perioodil temperatuur 19...25 kraadi ja suhteline niiskus mitte üle 70%, soojal perioodil 20...26 kraadi ja suhteline niiskus mitte üle 55%. Meie kliimas tagavad soojusliku mugavuse hoonetes külmal perioodil kütteseadmed ja kuumal perioodil jahutussüsteem. (4, lk 15)

1.6 Sisekliima mõju inimesele

Lisaks soojuslikule mugavusele mõjutab ruumiõhu sisekliima inimeste töövõimet ja haigestumise riske. Maailmas on läbi viidud rohkesti uuringuid, mis on tõestanud, et näiteks ebapiisav ruumiõhuvahetus suurendab tervise riske ja haigestumist ning alandab töösooritusvõimet (tööviljakus, laste õppimisvõime koolis jms.). (4, lk 18)

Alljärgnev graafik, mis tugineb Seppäneni ja Fiski tööle, illustreerib ruumiõhu temperatuuri mõju Euroopa keskmise kontoritöötaja tööviljakusele.



Joonis 2. Ruumiõhu temperatuuri mõju tööviljakusele (Autori koostatud allika 1 andmetel)

Kui ruumiõhu temperatuur on vahemikus 21...25 kraadi, on kontoritöötaja tööviljakus maksimaalne. Iga kraad, mis on üle temperatuuri 25 kraadi, vähendab tööviljakust ca 2% võrra. Näiteks, kui ruumiõhu temperatuur on 30 kraadi, siis on tööviljakus ca 10% väiksem. Soome professor O. Seppänen on hinnanud, et Soome riik kaotab hoonete halva sisekliima tõttu iga aasta üle 3 miljardi euro. (4, lk 19)

Väga oluline on jälgida, et energiasääst ei toimuks sisekliima arvelt. Näiteks on lubamatud olukorrad, kus koolides asendatakse vanad aknad uute ja õhupidavate akendega ning samaaegselt ventilatsiooni ei ehitata.

1.7 Sisekliima märgis

Vältimaks energiasäästu ja sellega kaasnevat ebaõiglast paremat positsiooni energiamärgise skaalal sisekliima arvelt peaks koos energiamärgisega väljastama ka sisekliima märgise. Sisekliima märgise koostamisel võiks lähtuda järgmistest variantidest:

- Sisekliima ja energiakulude dünaamiline arvutisimulatsioon aastase perioodi kohta (uued ja olemasolevad hooned);
- Pikaajalised ja pidevad sisekliima mõõtmised (olemasolevad hooned);
- Hoone kasutajate subjektiivne hinnang sisekliimale (olemasolevad hooned).

Meie oludes oleks olemasolevate hoonete korral ilmselt kõige otstarbekam lähtuda hoone kasutajate subjektiivsetest hinnangutest. Selleks tuleks koostada sisekliima küsitlusankeet ja viia kasutajate seas läbi vastav küsitlus. Küsitluse tulemuste ja nende analüüsi alusel saaks koostada sisekliima märgise. (4, lk 18, 19)

2. ENERGIATÕHUSUS

2.1 Hoonete energiakasutus

Energiatõhusus on energiakasutuse tõhusus, kasuliku ja kulutatud energia suhe. Tõhus energiakasutus hõlmab tehnoloogiat ja meetmeid, mis vähendavad elektri- ja/või kütusekulu sama otstarbega töö tegemiseks, nt tööstusettevõtete, kontorite, kodude, autode energiaga varustamiseks. (13)

Paljudes euroopa riikides on hoonete soojusvajadus tervikuna vähenenud, hoolimata sellest, et hooneid on juurde ehitatud. Üheks põhjuseks on energiasäästumeetmete rakendamine olemasolevates hoonetes. Teiseks põhjuseks on ehitustehnoloogia areng, mistõttu on nii elamute kui ühiskondlike hoonete soojuskadu madalam.

Samal ajal on aga elektrienergia kasutamine suurenenud. Peamiseks põhjuseks on elektriga töötavate masinate ja seadmete suur arv. Samuti mängib rolli elektrienergia suurem kasutamine kütmiseks. Elektrienergia suurenenud kasutamisele nii elamutes kui ka ühiskondlikes hoonetes aitavad kaasa erinevad ooterežiimiga seadmed nagu näiteks telerid, arvutid jms. Ventilaatorid, pumbad ja jahutusseadmed on järjest suurema energiatarbimisega liigsoojuse tõttu uutes ühiskondlikes hoonetes. Elamud ja ühiskondlikud hooned määravad suure osa Eesti energiatarbest. Eestis vajavad hooned ja sellega seotud tegevused aastas umbes 4 TWh elektrienergiat ja 13 TWh soojusenergiat. (1, lk 205)

Euroopas kasutavad elamud ja ühiskondlikud hooned peaaegu poole toodetud elektrienergiast ja üle kolmandiku kütustest pärit energiast. Euroopas on hoonete energiatarve aina kasvava tähtsusega küsimus. Euroopa Liidu komisjon on esitanud ettepaneku, et kõikides Euroopa Liidu maades tuleb hoonete energiatarvet vähendada võrreldes 2005. aastal tarbituga 20 protsenti aastaks 2020. Arutlusel on veel lisaeesmärk, et aastaks 2050 peab soojuse tarve keskmiselt olema langenud poole võrra, võrreldes 2005. aasta tarbega. Isegi kui kõik uued hooned ehitataks

selliselt, et elektri- ja soojusenergia vajadus oleks väga väike, ei vähendaks see kogu hoonesektori energiakasutust. See ainult piirab energiakasutuse kasvu, aga kogu hoonesektori energiavajadust saab vähendada ainult säästumeetmetega olemasolevates hoonetes. Pole kahtlustki, et kõnealune teema saab olema järgnevatel aastatel üha olulisem nii Eestis kui ka kogu Euroopas. See eeldab aga, et iga uue maja või hoone:

- Välistarind on kujundatud ja konstrueeritud nii, et soojuskadu külmal aastaajal ja liigsoojus päikesepaistelisel päeval oleks võimalikult väike;
- Piirdetarindite osad ja tehnosüsteemid on kujundatud ja dimensioonitud energiatõhususest lähtudes.

Uute hoonete projekteerimisel saab tavaliselt võrdlemisi marginaalsete kuludega saavutada kõrge energiatõhususe. Uue maja ehitamisel on lisakulu väga hea seinasoojustuse ja õhutiheda välistarindi saavutamiseks väike. Samuti on suhteliselt väike hinnavahe väga madala soojus läbikandeteguriga akna ja tavalisema akna vahel. Välistarindi soojustuse ja tiheduse parandamine pärast seda, kui maja on valmis, on aga väga kulukas. Ka akende vahetamine olemasolevas majas on tavaliselt nii kulukas, et seda on raske energiasäästuga põhjendada. Sellepärast on oluline, et uute majade välistarindid kujundataks ettenägelikult, lähtudes sellest, et need peavad püsima 40 aastat ja kauem. (1, lk 206)

Tehnosüsteemid ja nende osad, näiteks õhu töötlemise seadmed, küttesüsteemi osad, jahutusmasinad, valgustussüsteem jne on lühema elueaga. Ühiskondlikes hoonetes renoveeritakse neid osaliselt tavaliselt 15 – 20 aasta järel, ehk siis paar korda kogu hoone eluea jooksul. Seega on võimalik rakendada uusi energiaefektiivseid lahendusi mitu korda hoone eluea jooksul. Välistarindi algupärast kujundust on aga raske ja igal juhul väga kulukas muuta.

Piirtarindi klaasist osade suurus määrab kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide võimsuse. See jääb määravaks ka siis, kui tehnosüsteeme uuendatakse, mis piirab võimalusi energiatarvet tulevikus vähendada. Praegune arhitektide seas populaarne suund kujundada uusi ühiskondlike hooneid suurte klaaspindadega, toob kaasa nii kõrge soojustarve soojuskadude tõttu väljaspool tööaega, kui ka suure elektritarbe liigsoojuse eemaldamise vajaduse tõttu tööajal. Kuna siin on otsene seos piirtarindiga, on nende energiatarvete vähendamise võimalus marginaalne läbi hoone terve eluaja. (1, lk 206)

2.2 Hoonete otstarve ja kvaliteet

Hoonete ehitamise põhjuseks on vajadus, mis on seotud hoone ruumide kasutamisega. Uusi eramuid või korterelamuid ehitatakse inimestele elamiseks. Büroohooneid aga koosolekute pidamiseks ja kirjutuslaua taga töötamiseks. Haiglaid ja teisi tervishoiuhooneid rajatakse arstlikeks läbivaatusteks ja erinevateks raviprotseduurideks. Kaubamaju võimalikele ostjatele kaupade eksponeerimiseks ja müümiseks, tööstushooneid erinevateks tootmisvajadusteks.

Uue hoone projekteerimisel on oluline, et energiavajadus oleks algusest peale viidud miinimumini. Olemasolevates hoonetes tuleb selleks meetmeid läbi viia juba valmis hoones. Ei uutes ega olemasolevates hoonetes ei tohi energiasäästuks valitud tehnilised lahendused või meetmed põhjustada hoonete muutumist kasutuskõlbmatuks ning samuti ei tohi need hoonete eluiga lühendada. Seda tuleb alati meeles pidada nii uusi hooneid projekteerides kui ka olemasolevates hoonetes läbiviidavate meetmete puhul. Lisaks sellele peab saavutatava energiasäästu ja selle saavutamiseks kasutatud vahendite vahel alati valitsema vastuvõetav tasakaal. Muidu on oht, et piiratud ressursse raisatakse vähe tulu toovatele lahendustele ja meetmetele, samas ei jätku ressursse nendele lahendustele, mis võimaldaks säästa palju. Seetõttu peavad energiaefektiivsed tehnilised lahendused ja meetmed täitma kahte kriteeriumi:

- Energiavajaduse vähendamise meetmete rakendamisel peab hoone otstarbekus, tehniline kvaliteet ja sisekliima paranema või jääma samaks;
- Energiavajaduse vähendamiseks kasutatud vahendite kulu peab olema tasakaalus energiasäästuga. (1, lk 207)

Hoone otstarbekust või eluiga vähendavad energiasäästumeetmed ei ole energiatõhusad. Samuti ei ole energiatõhusad energiasäästulahendused, mille kulu on palju suurem kui faktilise energiasäästu väärtus.

Põhiliselt on kahte liiki lähteülesandeid:

- Funktsioone määravad lähteülesanded (soovitud funktsioonid – tagamiseks: päevavalguse kasutamine; soojuslik sisekliima; õhukvaliteet; valgustuse kvaliteet; akustika; barjäärid; õhu puhtus);

- Kvaliteeti määravad lähteülesanded (soovitud kvaliteet – tagamiseks: esteetilised lahendused; efektiivne pinna kasutus; efektiivne hoone kasutus; hea ruumide paigutus; lihtne hooldatavus; energiatõhusus; niiskuskindlus). (1, lk 207)

Kahte liiki jaotamise eesmärgiks on rõhutada, millised lähteülesanded määravad hoone otstarbeka kasutatavuse. Energiasäästumeetmed ei tohi ohustada kasutatavust. Tehnilised lahendused ja teised energiavajaduse vähendamise meetmed peaksid hoone funktsioneerimist ja kvaliteeti parandama või selle vähemalt samaks jätma. Vähene energiakasutus tuleb saavutada ühtegi funktsiooni määrava lähteülesande täitmist ohustamata. Kvaliteeti määravad lähteülesanded on suhteliselt konkreetsed ja käegakatsutavad. Alati on risk, et planeerimise käigus pööratakse rohkem tähelepanu neile kui funktsiooni määravatele lähteülesannetele. Tulemuseks võib olla puudulikult funktsioneeriv hoone. Seetõttu on tähtis, et funktsiooni määravad lähteülesanded on kesksel kohal terve projekti ulatuses. Energiasäästulahendusi ja –meetmeid valides peab alati kindlaks tegema, et kolm järgnevat funktsioonidega seotud tingimust täidetakse:

- Sisekliima peab olema soovitud tasemel, see tähendab head õhukvaliteeti ja head soojuslikku sisekliimat; loomulikult ei tohi olla mingeid ohte tervisele;
- Neil, kes elavad või töötavad hoones, ei tohi tekkida probleeme häiriva müra, ebameeldiva tuuletõmbuse või elektriväljadega;
- Hoone pikaajaline funktsioneerimine on tagatud, näiteks tehes kindlaks, et paigaldatud süsteemid on vajadusel lihtsasti hooldatavad ja vahetatavad. Samuti et hoone piirdetarind oleks niiskusekindel ning ehitusmaterjalid ja materjalide kooslused kaua vastu pidavad ja kasutatavad. (1, lk 207)

Iga tehniline lahendus või samm energiavajaduse vähendamiseks peab vastama nendele kolmele tingimusele nii uute hoonete planeerimisel kui ka olemasolevate hoonete renoveerimisel. Paljudel juhtudel on ilmselge, kas lahendus on probleemivaba ja rahuldab neid kolme tingimust. Osadel juhtudel võib analüüs näidata, et see nii ei ole. Sellisel juhul on vaja väljapakutud lahendusi ümber kujundada või muuta.

2.3 Olemasolevad hooned

On tähtis, et uusi hooned kujundataks nii madala energiavajadusega kui vähegi võimalik. See aga ei vähenda energiavajadust tervikuna, vaid ainult energiavajaduse suurenemist. Et vähendada hoonete energiatarvet tervikuna, tuleb meetmeid rakendada olemasolevates hoonetes.

Uusi hooned on võrdlemisi lihtne kujundada nii, et nende energiavajadus oleks madal. Kulu selleks on üsna väike. Olemasolevate hoonete energiavajaduse vähendamine on aga nii meetmete valiku kui kulude poolest palju raskem. See on üks põhjuseid, miks tihti on huvi uute hoonete vastu palju suurem kui olemasolevate vastu. Kuid ometigi on olemasolevate hoonete energiavajaduse vähendamine tulevikus üks ehitusala suuri väljakutseid.

Autor käsitleb järgnevalt lühidalt energiasäästumeetmeid olemasolevates hoonetes. Hoone erinevad osad ning kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteem võivad mõjutada energiavajadust mitmel viisil. Hoone tarind mõjutab:

- Soojuskadusid ülekande teel;
- Soojuskadusid õhulekke kaudu;
- Päikesekiirguse sissetungimist;
- Kiirguse soojuseks muundamist ja kaasnevat lisa vabasoojusele;
- Soojuse salvestamist ja soojuse ning jahutuse vajaduse vähendamist.

Valgustus ja elektriseadmed mõjutavad:

- Elektrienergia vajadust;
- Soojuse vajadust;
- Liigsoojust.

Hoone kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteem mõjutab:

- Küttevajadust;
- Kütuse liiki;
- Elektrienergia vajadust, kui on elektril baseeruv küte: otsene elekterküte; elektriline mahtveesoojendi soojuspump;
- Jahutuseks vajalikku elektrienergiat;

- Küttesüsteemi soojusvajadust – see oleneb peaaugult ruumide soojusvajadusest, aga oleneb palju ka küttesüsteemist endast ja selle tööviisist;
- Küttesüsteemi tööks vaja minevat elektrienergiat;
- Ventilatsioonisüsteemi tööks vajalikku soojus- ja elektrienergiat. Kui ventilatsioonisüsteem peab eemaldama ka liigsoojust, siis liigsoojuse suurenemisel suureneb ka soojus- ja elektrienergia vajadus.
- Ühiskondlikes hoonetes elektrienergia vajadust liigsoojuse eemaldamiseks. Eraldi jahutussüsteemi olemasolul (näiteks jahutuspalgid) suureneb elektrienergia vajadus liigsoojuse suurenemisel.

Paljudes hoonetes on võimalik energiavajadust teatud määral vähendada, rakendades suhteliselt lihtsaid meetmeid. Elamute ja ühiskondlike hoonete energiatarbes on aga suur erinevus. Olemasolevates elamutes kuulub odavate meetmete hulka küttesüsteemi reguleerimine ja absurdelt madala kasuteguriga pumpade väljavahetamine. Energiavajaduse püsivaks ja oluliseks vähendamiseks tuleb aga tihti läbi viia ulatuslikumaid meetmeid, mis on seotud hoone piirdetarindi soojuskadude vähendamisega. (1, lk 217)

Olemasolevas hoones on need meetmed võrreldes võimaliku energiasäästuga kulukad. Paljudes Eesti elamutes on aga tulevatel aastatel igal juhul vaja ruume korrastada ja uuendada, ning ka soojuslikku sisekliimat ja õhu kvaliteeti parandada. Kui seda tehakse, peaks alati kasutama võimalust samaaegselt energiasäästumeetmeid läbi viia. Energiasäästu lisakulu on siis tavaliselt küllaltki vastuvõetav, võrreldes tulevikus säästetud energiaga. Olemasolevates ühiskondlikes hoonetes on realistlikud energiasäästumeetmed seotud hoone kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemidega ning valgustussüsteemiga. Piirdetarinditega seotud meetmeid ei saa tavaliselt ainult energiasäästuga põhjendada. Ka sel puhul peab paika, et kulusid saab oluliselt vähendada, korrastades süsteeme koos parandus- ja renoveerimistöödega. (1, lk 218)

Elamutes on tihti energiasäästumeetmeks soojuskadude vähendamine ning küttesüsteemi täiustamine või uuendamine. Soojuskadusid saab vähendada piirdetarindi soojustuse ja tiheduse parandamisega. Realistlikud soojustust parandavad meetmed on tavaliselt akende vahetus ja põõningute soojustuse parendamine. Viimase juures on aga tähtis, et ei tekiks niiskusprobleeme, näiteks ei tohi kinni panna ventilatsiooniavausi. Kaod läbi seinte on tavaliselt suhteliselt väikesed ning seinte soojustuse parandamine ei ole peaaegu kunagi energia vaatepunktist tasuv. Kui aga

fassaad nõuab renoveerimist, tuleks alati kaaluda ka soojustuse parandamist. Soojustuse parandamine vanades majades on tihti tähtis sisekliima seisukohast.

Kogu hoone tarindit vaadates on oluline õhutihedus, et vältida õhulekkeid. Vanades majades nõuavad tähelepanu peamiselt aknad ja ukсед. Tuleb meeles pidada, et õhutiheduse parandamisel ei tohi siseõhu kvaliteeti halvendada. 1970. ja 1980. aastatel paranes Euroopas ehitustehnoloogia ning koos sellega ka hoone tarindi õhutihedus. Tihti aga unustati õhulekete vähendamine kompenseerimata. Selle tagajärjeks oli kehv siseõhu kvaliteet, talvel õhuniiskuse akendele kondenseerumine ja mõnel juhul ka niiskuskahjustused. (1, lk 218)

Mis puudutab konstruktsioonilahendusi ja meetmeid, on oluline mitte kasutada lahendusi ja materjale, mis suurendavad emissioone ja saastatust. Samuti on oluline vältida selliseid ehitustehnoloogilisi meetodeid, mis tulevikus suurendavad riski niiskuskahjustuste ja hallituse tekkeks. (1, lk 218)

Õliküttega ja elektriliste katelde vahetamine teise kütteallika vastu on oluline. Sama kehtib ka elektriradiaatoritega majade puhul. Kahjuks on see raske, kuna vahetus nõuab soojuse jaotamissüsteemi paigaldust. Tänapäeval on kättesaadavad efektiivsed õhk-õhk-soojuspumbad, mis sobivad hästi täiendamaks ühepereelamute elektrikütet. Need võivad vähendada elektrivajadust kütmisel 40 – 50 %.

Majapidamiselektri kasutamine on suurenenud. Ooteaja režiimiga kodutehnika, nagu näiteks televiisorite, digitaalsete vastuvõtjate, satelliitvastuvõtjate jne, kasutamine on suurenenud. Nende energiatarve selles režiimis võib olla 10 W, aga kuna neid ei lülitata kunagi välja, tarbib neist igauks ligi 100 kWh aastas. Sel alal oleks oluline uute lahenduste väljatöötamine. (1, lk 219)

Vesiküttesüsteemide tsirkulatsioonipumbad on väikese võimsusega, tavaliselt 70 kuni 100 W. Kui need töötavad terve aasta jooksul, tähendab see, et elektri tarbimine on 600 kuni 900 kWh aastas. Need tuleb suveks välja lülitada. Enne käivitamist tuleb veenduda, et pump on veega täidetud ja tiivik ei ole kinni kiilunud. Mis puudutab eramute vanade küttesüsteemide pumpi, on need tihti väga ebaefektiivsed. Tavaline kasutegur võib olla nii väike kui 5 – 10 %. Vana pumba asendamine uue parema efektiivsusega pumbaga on tihti nii tasuv kui ka energiatõhus. Iga-

aastane elektrienergia vajadus pumpade tööks võib siis väheneda 400 – 500 kWh aastas. (1, lk 219)

Ühiskondlikes hoonetes saavutatakse suurim energiasääst valgustuse parandamisel või väljavahetamisel ning kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide ja nende reguleerimise uuendamisega. Hoone tarindi parandamine on tavaliselt olemasolevas hoones kulukas ja energiasäästu tulemused marginaalsed.

Tavaliselt meetmed tarindis energiatõhusust palju ei paranda, kuid sisekliima seisukohast lähtudes võib olla nii mitmeidki häid põhjuseid vähemalt suuremaid puuduseid tarindis parandada. Kui hoone tarindit renoveeritakse seoses selle lagunemise või soojusliku sisekliima parandamise vajadusega, tuleks kõik võimalikud energiasäästumeetmed läbi viia ühel ajal. Maksumuse erinevus näiteks tavalise akna ja parimate energiaomadustega akna vahel on nii väike, et saavutatav energiasääst on sellega tasakaalus. (1, lk 219)

Vähese inimaktiivsusega ühiskondlikes hoonetes, näiteks laoruumides, rakenduvad samad kriteeriumid nagu elamuteגי puhul. Energiatarbe seisukohalt lähtudes käituvad ühiskondlikud hooned väljaspool tööaega peaaegu nagu elamudki. Mida vähem tunde hoonet kasutatakse, seda suurem on soojustuse mõju hoone tarindile ja vastupidi. On väga oluline arvesse võtta, kuidas hoonet kasutatakse või kavatsetakse kasutada. Järgnevalt on toodud mõned näited erinevate ühiskondlike hoonete kasutamisaegade kohta. (1, lk 219)

Haridusasutus – Semestrite jooksul. Umbes 2000 tundi aastas. Ei kasutata nädalavahetustel ja pühade ajal. Kontor – Tööajal, umbes 2500 tundi aastas. Teaduslikud uurimislaborid – Kasutuses terve aasta jooksul, 4000 - 8760 tundi aastas. Väljaspool tööaega võib olla aktiivsus väike, kuid seadmed, näiteks tõmbekapid, töötavad. Haigla – Osa ruume on pidevalt terve aasta jooksul kasutuses, 8760 tundi aastas. Öösiti on osades ruumides vähem tegevust. (1, lk 219)

Osades haiglaruumides esineb peaaegu terve aasta jooksul liigsoojust. Seetõttu pole energiasäästumeetmetel, mis on mõeldud hoone tarindi paremaks muutmiseks, erilist efekti. Vahel on need meetmed aga õigustatud mugavuse tõttu. Üks erand energiasäästumeetmetes on päikesevarjestus. Tõhus päikesevarjestus tähendab päikesekiirguse poolt tekitatud liigsoojuse vähendamist. Samuti vähendab oluliselt kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi vajalik

võimsus, olemasolevas hoones on süsteem aga juba olemas. Siiski vähendab efektiivne päikesevarjestus teatud määral kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi elektrienergia vajadust. Valgustussüsteemid on väga olulised. Olemasoleva süsteemi asendamine energiaefektiivse süsteemiga toob iseenesest kaasa otseset elektrienergia säästu. See toob aga ka kaasa liigsoojuse vähenemist ja sellega kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi elektri- ja soojusenergia vajadust. Hästi projekteeritud ventilaatorite süsteem on samuti oluline. Suurtes hoonetes on tavaline, et seal on suur hulk ventilaatoreid, mis peaksid töötama vastavalt ajaprogrammile. Sageli töötavad need ettenähtud ajast kauem. Ka siin on võimalik elektrienergiat kokku hoida. Kui soojustagastussüsteem on efektiivne, on ventilaatorite tööaja vähendamisel kütte seisukohast lähtudes väike efekt. Ventilaatorite tööaja vähendamine on aga elektrienergia kulu vaatepunktist lähtudes väga oluline. Ometigi peab soojustagastussüsteem olema efektiivne. Tuleb vähemalt iga sügis kontrollida, et see töötab korralikult. (1, lk 220)

2.4 Energiatõhus renoveerimine

Kui renoveerida maja, siis peaks parandama paralleelselt ka energiatõhusust hoonel. Kui projekteerida uut hoonet või renoveerida olemasolevat ehitist, peaks kindlasti mõtlema ka piirangutele, mis seatakse energiatõhususele. Kõik majad on erineva iseloomuga, seega tuleks hoone renoveerimine põhjalikult planeerida ja peab arvestama maja eripäradega ning vajadustega.

Peale hoonete energiasäästlikumaks muutmise parandab kompleksne renoveerimine ka hoone sisekliimat, aitab säilitada olemasolevaid konstruktsioone ning teeb maja fassaadi silmale kaunimaks. (14)

Energiasäästlikkuse seisukohalt, olemasolevate ehitiste renoveerimise turg esindab kõige suuremat potentsiaali ehitussektoris. Samas aga tehnilisest seisukohast esindab see kõige nõudlikumat väljakutset. Ei ole mõeldav viia renoveeritava hoone energiatõhusus samale tasemele passiivmajaga "normaalsel" viisil. Enamikel juhtudel ei ole see majanduslikult mõttekas. Selle asemel, et renoveerida olemasolevaid hooneid üksikute projektidega, on soovitatav nn energia-optimeeritud renoveerimine. Projekti ökonoomsus on saavutatud lähenedes vaadates hoone remonti komponendiprojektide jadana läbi terve hoone eluea. Iga komponent, näiteks

fassaad, aknad või katus on remonditud või vahetatud optimaalset arvestades kasutusaega. Iga kord, kui komponenti remonditakse, kasutatakse parimat tehnoloogiat, et hoida energiatõhusus passiivtasemel. (5)

Hoone energiatõhusus on rohkemat, kui selle komponentide summa. Komponentid toimivad koos ja seetõttu on äärmiselt oluline vaadata hoonet tervikuna. Toome ühe näite. Vanad aknad, mis on varustatud õhuavadega raamides, vahetatakse uute kõrge energiatõhususega akende vastu, millel ei ole õhuavasid. Värske õhk võetakse läbi taastuvsoojusseadme ja süsteem tuleb seadistada vastavalt. See näitab, et ühe komponendi muutus võib mõjutada ka teisi komponente. Seetõttu on vaja hoolsalt projekteerida, et vältida vigu. Läbi aastate ja mitmete komponendipõhiste projektide on välja töötatud majanduslikult mõistlik viis viia hoonete energiatõhusus passiivtasemele. Samal ajal pikeneb hoone eluiga jätkusuutlikul viisil. (5)

2.5 Energiatõhus maja

Tänapäeva inimesed lähtuvad endale kodu valides elukeskkonna väärtustamisest. Kuna küttehinnad järjest kallinevad, siis on väga tähtsaks saanud hoonete energiatõhusus ja energiasäästlikkus.

Energia hindade jätkuv kasv sunnib meid järjest enam pöörama tähelepanu energia optimaalsele kasutamisele. On selge, et globaalseid või regionaalseid energia hindu me mõjutada ei suuda. Küll suudame aga säästa tarbitava energia hulka nii, et meie elu ja töö kvaliteet ei halveneks, olemasolevate hoonete puhul saame mõjutada hoone energiatarbimisi oma teadmiste ärakasutamise ja tehnosüsteemide töö efektiivsuse tõstmisel ning hoone viimise ja vastavusse kasutajate harjumustega. (15)

Energiatõhusad majad jagunevad laias laastus kolmeks: väga madalad energiamajad, madalenergiamajad ning mitte madalenergiamajad. Oluline on, et klient enne tellimuse tegemist otsustaks, kui energiatõhusat maja ta soovib. Siit algab protsess, mis määrab, millised peaksid olema konstruktsioon ning ventilatsiooni- ja küttesüsteem, samuti hoone arhitektuurne lahendus ning maja paiknemine ilmakaarte suhtes. (6)

Kõige madalama kütteenergiatarbega (kuni 15 kW/m²) on passiivmaja, kuid standarditele vastavat passiivmaja pole Eestis lihtne ehitada, ehituskulud on suhteliselt krõbedad ning investeeringu tasuvusaeg võib osutada ebaratsionaalselt pikaks. Madalenergiamaja (kütteenergiatarve keskmiselt 30–50 kW/m²) on küttekuludelt soodus, kuid samamoodi ei pruugi maja püstitamiseks makstav raha end väga kiirelt ära tasuda, kuna nii konstruktsioonidele, katusele, küttesüsteemile kui ka avadele tuleb teha täiendavaid investeeringuid. Teatud tingimustel võib madalenergiamaja aga olla parim valik. (6)

Eesti tingimustes on kõige optimaalsem ehitada energiaklassi A hooneid, mis ei nõua eriti lisainvesteeringuid, kuid samas on nende kütteenergiatarve väike, kuni 100 kW/m². Parim lahendus on ehitada kohe standardist paremate näitajatega maja, mille energiavajadus jääb näiteks 70-100 kW/m² piiresse. Sama energiatõhusalt on võimalik ehitada ka puitmaju, kuid nende puhul tuleb hoolikamalt vaadata konstruktsioonilahendusi ja investeering võib jällegi kallimaks minna. Terviklikult tuleb vaadelda nii seinte õhuvahetust, akende tihedust kui ka ventilatsiooni – kõik aspektid kokku koos paiknemisega mõjutavad energiatõhusust. Näiteks annavad tänapäevased soojatagastusega ventilatsioonisüsteemid energiatõhususele palju juurde. Arvesse tuleb võtta, et kogu hoone energiatõhusust mõjutab peale kütte- ja konstruktsioonelementide valiku ka arhitektuurne lahendus. Väga sopilise hoone energiatõhusus on väike, arvestada tuleb klaaspindade hulga ja paiknemisega ilmakaarte suhtes. Hoone energiatõhususe puhul on mõttekas vaadata üle ka elanike tarbimisharjumused, sest see mõjutab tugevalt hoone soojapidavuse näitajat. Aeg, mil suurte klaaspindade kasutamine tähendas talvel külmetamist ja suvel palavat tuba, on ümber saamas. Enam ei arvestata ainult klaaspaketi soojapidavust, vaid kogu konstruktsioon (klaaspakett, raam ja leng) soojapidavust. Õhupidavuse saladus peitub paigalduses. (6)

Kontrollimatu õhuliikumisega konstruktsioonis kaasneb niiskuse liikumine, mis peale ülisuure soojakao võib tingida seina märgumise. Tagajärjeks on inimese tervisele kahjulike hallituste ja mädanike vohamine. Niiskusest põhjustatud kahjustuste vältimiseks peab kasutama varieeruva niiskustakistusega auru- ja õhutõkkeid. Konstruktsiooni kuivamisvõime peab olema alati suurem kui eeldatav niiskuskooormus. Määrusega on energiatõhususele seatud miinimumnõuded, mille järgi tuleb hoonete piirete kriitilised sõlmed teha täielikult õhupidavaks. Tänapäevastes konstruktsioonides ei tohi enam kasutada lihtsat aurutõket, vaid sertifitseeritud auru- ja õhutõkkesüsteeme. Väga oluline on õhu- ja aurutõkkesüsteemi kvaliteetne paigaldus ettenähtud

juhiste järgi. See tagab hea õhupidavuse. Ilma kvaliteetse ja hoolsa paigalduseta maja õhkupidavaks ei saada. (6)

3. HOONE ENERGIATARBIMINE JA SELLE VÄHENDAMINE

Käesolevas peatükis on analüüsitud hoone energiatarbimist, antud sellele hinnang ning tehtud esmased ettepanekud energiatarbe vähendamiseks. Töö käigus tutvuti hoone ja selle tehnosüsteemidega kohapeal, vesteldi nii kompleksi hooldepersonali kui ka konkreetsete hoonete kasutajatega ja tutvuti olemasoleva projekt- ning täitedokumentatsiooniga. Samuti analüüsiti Tellijalt saadud andmeid energiakasutuse kohta. (7)

Töö käigus tehti energiakulu analüüs, koostades selleks hoone energiabilansi. Lähtudes projekti ja täitedokumentatsiooni andmetest seadmete kohta, hinnati nii soojus- kui ka elektrienergia kulu. Kahjuks põhineb kogu analüüs ainult teoreetilistel arvutustel, kuna analüüs toimus suvisel ajal, siis ei võimaldanud see sisetemperatuuride mõõtmise ega ka kontrolli selle üle, kas erinevaid seadearve ka tegelikult hoiti, milline on ruumide sisetemperatuur kütteperioodil, kas automaatika töötab, kas ja mil määral toimub käsitsi reguleerimine, millised on soojustagatiste tegelikud temperatuuritegurid jne.

Soojusbilansi koostamisel lähtuti tasakaalu temperatuuridest ja projektdokumentatsioonil põhinevatest arhitektuur-ehituslikest näitajatest. Ventilatsiooni soojuskulu hindamisel lähtuti Eesti baasaastast, projekt- või täitedokumentatsioonist ning süsteemide töörežiimidest. Ventilatsiooni ja kuivatussüsteemide elektrienergia kulu hindamisel lähtuti seadmete tehnilistest andmetest ja töörežiimist. Kuna andmed tarbitava võimsuse kohta olid olemas vaid osaliselt, võeti elektrienergia tarbimisvõimsus hinnanguliselt võrdseks 80% paigaldusvõimsusest. Arvestades hoone ehitusaega ning kasutuse eripära, leidis hoone puhul liigset energiakulu, mida on võimalik väiksemal või suuremal määral vähendada.

3.1 Hoone energiakasutuse hetkeseis

Tabel 1. Hoone üldandmed

Korruste arv	4
Kõetav pind	6 129.8
Kõetavate ruumide sisekubatuur	18 300
Keldri olemasolu	jah

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Tabel 2. Varem läbiviidud rekonstrueerimistööd/renoveerimistööd

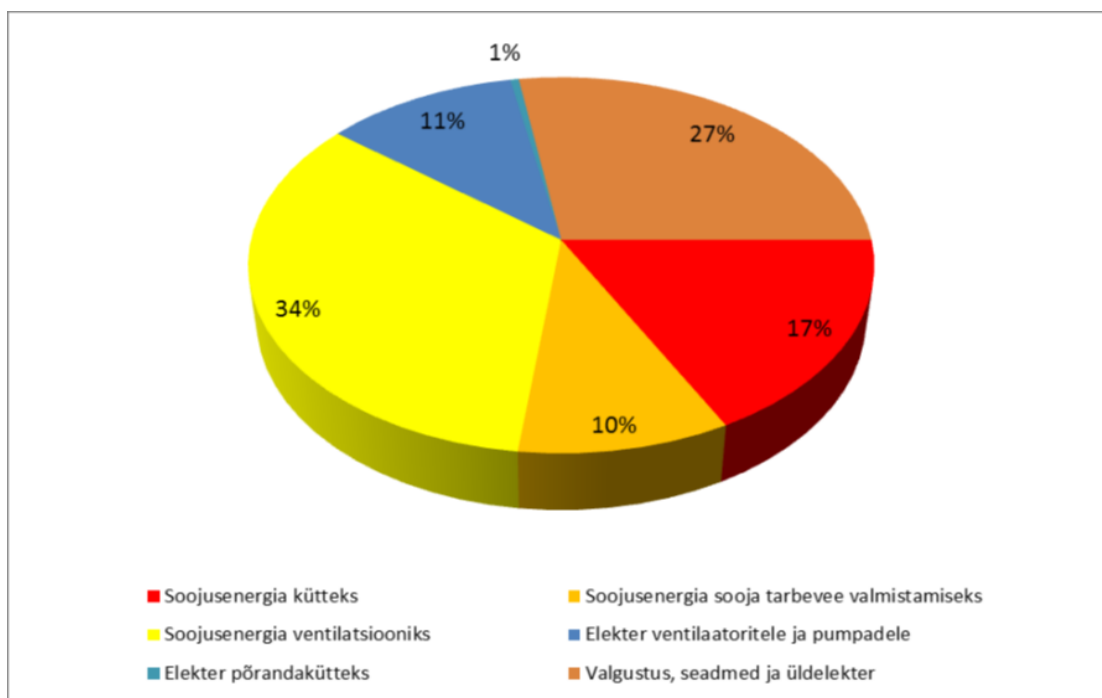
Alates 1999	Akende ja välisuste vahetamine Fassaadide renoveerimine ja soojustamine Katuslae renoveerimine ja soojustamine
Alates 1999	Kütte- ja ventilatsioonisüsteemide rekonstrueerimine Gaasikateldega boilersõlme ehitamine

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Tabel 3. Energia- ja veevarustuse üldiseloostus

Soojusenergia tarnija	Lokaalne gaasiküttel boilersõlm
Põhiline kütteviis	Keskküte
Kasutatav kütus	Maagaas
Küttesüsteemi ja soojusvarustuse põhimõtteline lahendus	Altjaotusega kahetorusüsteem Tsirkulatsioonipumpadega sõltumatu ühendus Katlamaja automatiseeritud
Kas küttesüsteem on varustatud üldise soojuskulu mõõturiga	Jah
Tarbevee tarnija	Tallinna Vesi AS
Veevarustuse liik	Tsentraalne linnavõrk
Olmeveekanaliseerimine	Tsentraalne linnavõrk
Sooja tarbevee valmistamine	Plaatsoojusvaheti, akumulaatorpaagid 3x1 m ³
Sooja tarbevee arvestus	Puudub
Ventilatsiooni liik	Sundventilatsioon
Elektrienergia tarnija	Eesti Energia AS
Elektrivõrgu pingeline	3x400 V

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel



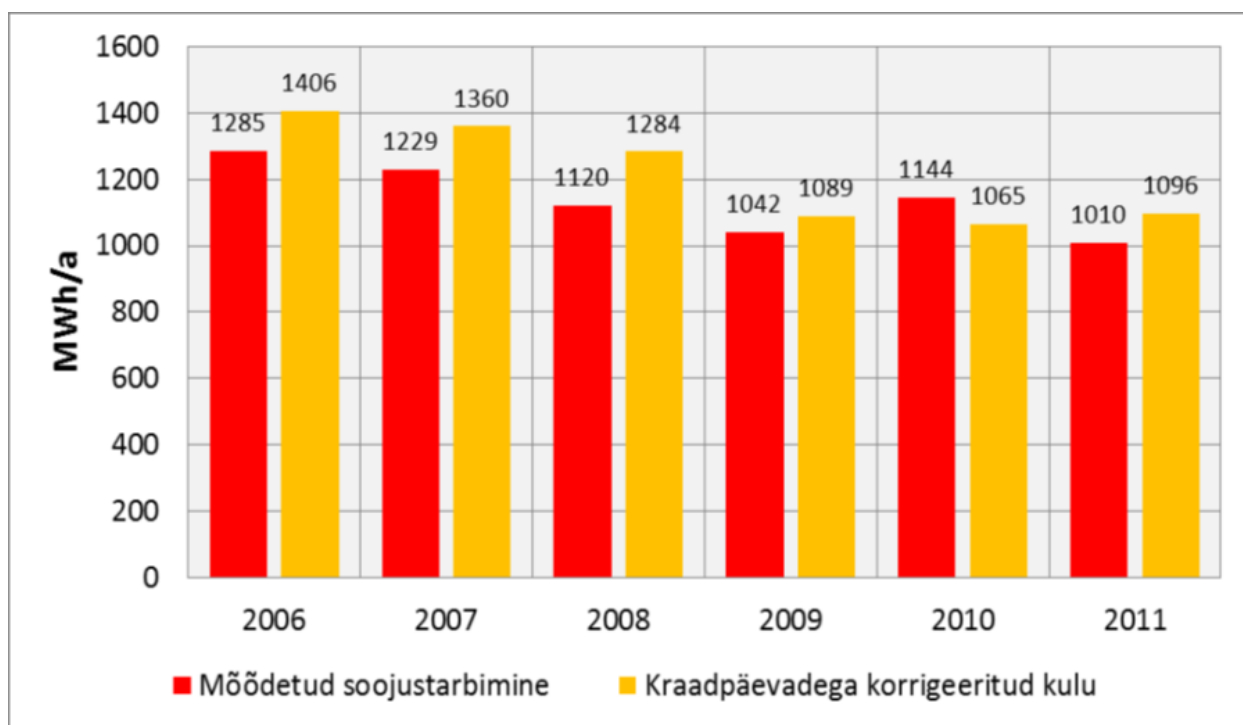
Joonis 3. Hoones viimase kuue aasta keskmine energiatarbimine (Autori koostatud allika 7 andmetel)

Kokku tarbitud kuue aasta keskmine energia küttele, sooja tarbevee valmistamiseks, ventilatsioonile ja elektrile 2016 MWh/a.

Tabel 4. Soojusenergia kulu

Soojusenergia tarbimine	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Ühik
Mõõdetud soojustarbimine	1285	1229	1120	1042	1144	1010	MWh/a
Soojuskulu tarbevee soojendamiseks	188	154	213	185	196	228	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	1097	1075	907	857	948	782	MWh/a
Tegelik aasta kraadpäevade arv	3800	3761	3673	3999	4606	3801	°C d
Normaalaasta kraadpäevade arv	4220						°C d
Kraadpäevadega korrigeeritud soojustarbimine	1406	1360	1284	1089	1065	1096	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	229	222	210	178	174	179	kWh/(m ² a)
Tasakaalutemperatuur	17						°C

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel



Joonis 4. Soojusenergia tarbimine (Autori koostatud allika 7 andmetel)

Aastate 2006-2011 keskmine mõõdetud soojusenergia tarbimine 1138 MWh/a.

Mõõdetud on ainult kogu soojusenergia tarbimist, kõik muud tarbimisandmed on arvutuslikud.

Kraadpäevadega on võimalik elimineerida välistemperatuuri muutuste mõju, tarbimine on kuude ja aastate lõikes suhteliselt stabiilne.

Edaspidistes arvutustes on kasutatud hoone energiavajadusena küttele, ventilatsioonile ja sooja tarbevee valmistamiseks kuue viimase aasta keskmist normaalaastale teisendatud soojusenergia vajadust 1217 MWh/a.

Tabel 5. Elektrienergia kulu

Elektrienergia tarbimine	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Ühik
Elektrienergia tarbimine kokku	798	799	928	729	697	844	MWh/a
Elektrienergia kütte- ja kliimaseadmetes	238	238	277	217	208	252	MWh/a
Põrandaküte	10	10	10	10	10	10	MWh/a
Valgus, seadmed, üldelekter	550	551	641	502	479	582	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	130	130	151	119	114	138	kWh/(m ² a)

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Aastate 2006-2011 keskmine elektrienergia tarbimine on 799 MWh/a ja eritarbimine köetava pinna kohta 130 kWh/(m²a). Mõõdetud on ainult kogu elektrienergia tarbimist, kõik muud tarbimisandmed on arvutuslikud. Elektrienergia tarbimine kütte- ja kliimaseadmetele moodustab 30% kogu elektrienergia tarbimisest.

Tabel 6. Vee kulu

Tarbevee kulu	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Ühik
Tarbevesi	6244	5090	7053	6126	6483	7565	m ³ /a
Tarbevee eritarbimine kõetava pinna kohta	1	0,8	1,2	1	1,1	1,2	m ³ /(m ² a)
Soojusenergia kulu vee koojendamiseks	188	154	213	185	196	228	MWh/a
Soe tarbevesi	3247	2647	3668	3186	3371	3934	m ³ /a
Sooja tarbevee erikulu kõetava pinna kohta	0,53	0,43	0,6	0,52	0,55	0,64	m ³ /(m ² a)

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

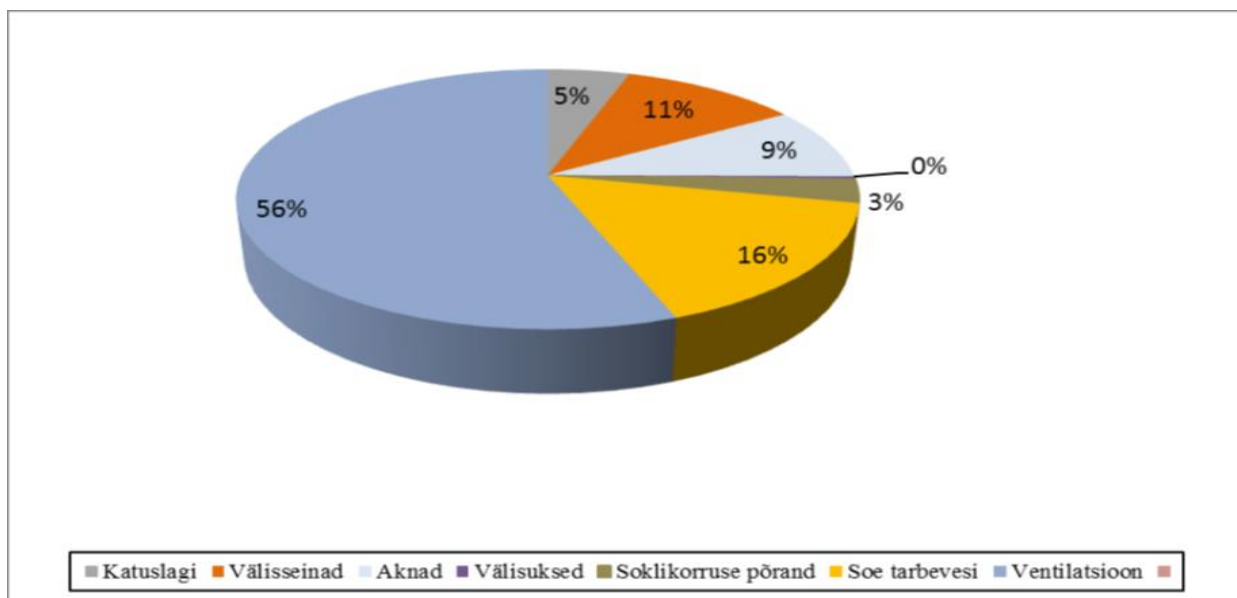
Sooja tarbevee erikulu kõetava pinna kohta on keskmiselt 0,54 m³/(m²a) ning soe tarbevesi moodustab kogu vee tarbimisest keskmiselt 52%.

Hoones tarbitud soojusenergia ning inimestest, valgustusest ja seadmetest eralduv vabasoojus moodustavad hoone energiabilansi ühe poole. Soojuskaod läbi välispiirete ja ventilatsiooniks vajaliku õhu soojendamise energiakulu moodustavad hoone energiabilansi teise poole. Soojuskadude arvutamisel on oluline arvestada hoone tasakaalutemperatuuri, mis antud hoonel on vabasoojuse arvutuste ja soojusenergia kasutamise kaudu määratud 17 °C. Kõik soojuskadude arvutused on teostatud Tallinna piirkonna normaalaasta kraadpäevadega. Alljärgnevates tabelites on hoone olemasolevate välispiirete soojusenergia kaod ja soojusbilansid.

Tabel 7. Välispiirete soojusenergia kaod

Piirde nimetus	Pindala	Soojusjuhtiv	Erisoojuska	Soojuskadu aastas
	m ²	W/m ² °C	W/°C	MWh/a
Katuslagi	1600	0,38	608	62
Välisseinad	4149	0,32	1328	134
Aknad	574	1,9	976	110
Välisüksed klaasiga	13	2	25	3
Välisüksed metallist	9	1,5	18	1
Keldri põrand ja sokkel	1600	0,36	640	36
Kokku:	7945	6,46	3641	346

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel



Joonis 5. Välispiirete soojusenergia kaod (Autori koostatud allika 7 andmetel)

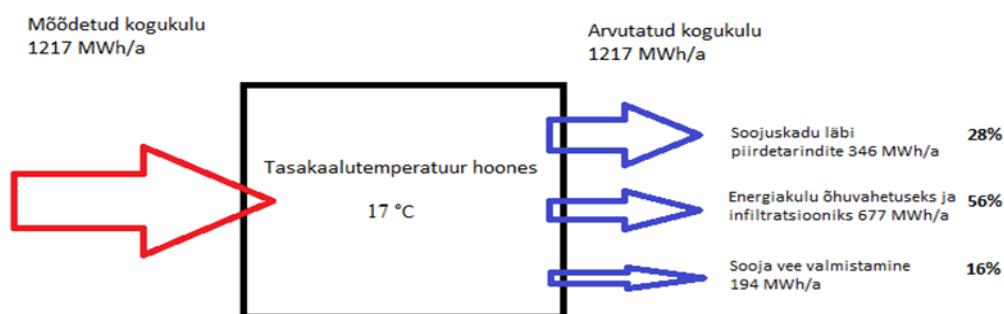
Alltoodud õhuvahetuse kordarv on kütteperioodi keskmine väärtus kogu hoone kohta.

Tabel 8. Hoone soojusbilanss

Hoone soojusbilanss	Energia sisse	Energia välja	Ühik
Mõõdetud soojusenergia tarbimine:	1217		MWh/a
Soojusenergia sooja vee valmistamiseks:		194	MWh/a
Arvutatud soojuskadu läbi välispiirete:		346	MWh/a
Energia õhuvahetuseks ja infiltratsiooniks:		677	MWh/a
Õhuvahetuse kordarv:		1,1	l/h
Tasakaalutemperatuur:		17	°C

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Kasutatud on mõõdetud 2006 – 2011 aasta soojustarbe kogukulusid korrigeeritult kraadpäevadega.



Joonis 6. Peahoone soojusenergia kasutamise üldine visuaalne jaotus (Autori koostatud allika 7 andmetel)

Tasakaalutemperatuur on 17°C, mis arvutati arvutusliku meetodiga. Piirdetarindite soojuskadod, soojusenergiakulu õhuvahetusele ja sooja tarbevee valmistamiseks on leitud arvutuslikul meetodil.

3.2 Hinnang hoone energiakasutuse kohta

Tabel 9. Hoonete piirdetarindid

Enne renoveerimist, tasakaalutemperatuur on 17°C					
Piirdetarind või selle osa	Materjal/olukorra kirjeldus	Pindala, m²	Hinnanguline U-väärtus, W/(m²K)	Hinnanguline soojuskadu, MWh/a	
Katuslagi	Bituumenmaterjalist kate, soojustus, r/b paneelid	1600	0,38	62	
Välisseinad	Krohvi, soojustatud (100 mm) telliskivist sein	4149	0,32	136	
Aknad	Plastraamis 2xklaasiga pakettaknad	574	1,9	110	
Klaasiga välisüksed	Soojustatud klaasidega	13	2	3	
Välisüksed metallist	Soojustatud	9	1,5	1	
Põrand	Soojustatud r/b plaat	1600	0,36	36	
Peale renoveerimist, tasakaalutemperatuur on 16°C					
Piirdetarind või selle osa	Meetmed energia säästuks	Pindala, m²	Arvutuslik U-väärtus, W/(m²K)	Hinnanguline soojuskadu, MWh/a	Energiasääst MWh/a
Katuslagi	Lisasoojustus 150 mm	1600	0,15	22	40
Välisseinad	Lisasoojustus 150 mm	4149	0,13	55	81
Aknad	Asendatakse 3xklaasiga selektiivklaasidega pakettaknadega	574	1,1	59	51
Klaasiga välisüksed	Ei renoveerita	13	2	3	-
Välisüksed metallist	Ei renoveerita	9	1,5	1	-
Põrand	Ei renoveerita	1600	0,36	36	-

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Tasakaalutemperatuur on temperatuur, milleni tõstetakse temperatuur küttesoojuse arvelt.

Edasine temperatuuri tõus toimub vabasoojuse (päike, inimesed, valgustus, seadmed) abil. Energiasäästu loetelu on üksnes informatiivne ja üksiku investeeringu teostamisel ilma täiendavate meetmete rakendamiseta ei pruugi saavutada loodetud säästu. Investeeringute kavandamisel tuleks lähtuda koosmõjulistest säästumeetmetest.

Katuslagi:

Hoone katus on rekonstrueeritud, kuid ebapiisavalt soojustatud. Katus koosneb ülevalt alla bituumenkatusekate, soojustus ja r/b paneelid. Lähtuvalt teostatud arvutustest on katuslae soojusjuhtivus $U=0,38 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Vastavalt „EVS 837-1:2003 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded” on laekonstruksioonide soovituslik soojusjuhtivus $U_{\text{max}}=0,22 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (seda sisetemperatuuril 18°C). Ruumides, mille temperatuur on 22°C , peab välispiirete soojusjuhtivus olema 20% väiksem, so $U_{\text{max}}=0,18 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kaasaegse hea soojapidavuse saavutamise eeldab 150 mm lisasoojustusmaterjali (soojusjuhtivusteguriga $\lambda_{\text{max}}= 0,04 \text{ W/m K}$) kasutamist, mille tulemusena peaks saavutama katuse soojusjuhtivuse $U= 0,15 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Välisseinad:

Hoone tellismüüritisest välisseinad on soojustatud mineraalvillast plaatidega (100 mm) ja terasvõrgul krohvitud. Lähtuvalt teostatud arvutustest on hoone välisseinte keskmine soojusjuhtivus $U=0,32 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, mis ei vasta „EVS 837-1:2003 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded” soovitatud väärtusele $U_{\text{max}}=0,28 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (seda ruumide temperatuuril 18°C). Ruumides, mille temperatuur on 22°C , peab välispiirete soojusjuhtivus olema 20% väiksem, so $U_{\text{max}}=0,23 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Täiendavalt võiks paigaldada täiendav lisasoojustus 150 mm (soojusjuhtivusteguriga $\lambda_{\text{max}}= 0,033 \text{ W/m K}$) saavutades väliseinte soojusjuhtivuseks $U=0,13 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Aknad:

Hoones on kõik aknad vahetatud 2-klaasiga plastraamides pakettakendega, mille soojusjuhtivus on $U=1,7-1,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Soovituslikult võiks, vastavalt tellija võimalustele, aknad vahetada kaasaegsete 3-klaasiga selektiivklaasidest argoontäitega ja väikese soojusjuhtivusega raamis klaaspakett akende vastu, millede summaarne soojusjuhtivus $U_{\text{max}}=1,1 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Parim variant välisseinte soojustamisel on vastavalt Tallinna Tehnikaülikooli teadlaste uuringutele kõikide akende paigaldamine olemasoleva välispiirde välispinda. Tellishoonetes

paikneb aken välisseina välispinnast 12 cm tagasiastega ja aknaraam paikneb tellise või silluse taga. Tihti on aknaraam tellise või silluse taga nii peidus, et aknapale väljastpoolt lisasoojustamine on raskendatud. Kui aknapalet ei õnnestu soojustada, säilib külmasild akna ja välisseina liitekohas, mida saab vähendada akna välisseinapinnale töstmisega.

Välisüksed:

Olemasolevate soojustatud klaasitud ja täismetallvälisuste keskmine soojusjuhtivus on $U=1,5-2,0$ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$. Uksed on heas korras ja neid ei ole mõtet energiasäästu nimel välja vahetada, tuleb jälgida, et uksed sulguksid tihedalt.

Tabel 10. Küte ja ventilatsioon

Osa nimetus	Kirjeldus	Ettepanekud ja parandusmeetmed
Katlamaja/boilersõlm	Malmsektisioon gaasikatlad 425 kW ja 315 kW, täisautomaatne	
Katlasüsteemi ringluspump	$Q=4$ l/s $N=0,94$ kW	Asendada vajadusel sagedusmuunduriga pumpadega
Küttesüsteemi ringluspump	$Q=3,1$ l/s $N=0,94$ kW	
Kalorifeeride ringluspump	$Q=2,2$ l/s $N=0,94$ kW	
Sooja tarbevee tsirkulatsioonipump	$Q=0,5$ l/s $N=0,1$ kW	
Plaatsoojusvaheti ja akumulatsioonipaakide ringluspump	$Q=1,0$ l/s $N=0,135$ kW	
Soojuse arvesti	Jah	
Sooja tarbevee valmistamine	Plaatsoojusvaheti 230 kW	
Soojussõlme soojusisolatsioon	Nõuetekohaselt soojustatud	

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Hoone soojusallikaks on keldrikorrusel paiknev gaasküttega boilersõlm. Gaasikütteil boilersõlmes toimub küttesüsteemi ja ventilatsioonisüsteemide kalorifeeride soojuskandja ning sooja tarbevee kuumutamine. Boilersõlme on paigaldatud plaatsoojusvaheti ja 3x1000 l mahuga akumulatsioonipaaki soojale veele, kütte, ventilatsiooni ja sooja vee ringluspumbad, reguleerautomaatika, ohutus-, sulg- ning reguleerarmatuur. Projektikohane katelde arvutuslik soojusvõimsus on 425+315 kW.

Soojustarbivate arvutuslikud soojusvõimsused:

- kütte 260 kW
- ventilatsioon 277 kW
- soe vesi 230 kW

Katla minimaalne vajalik võimsus on 553 kW (arvestades veetarbimise ebaühtlusega ja õhuvahetuse vähendamisega madala välisõhu temperatuuri korral). Katlaruumis asuvad ringluspumbad tuleks vahetamise vajadusel asendada sagedusmuunduriga pumpadega, arvutuslik kokkuhoid elektrienergiaarvel ~4-6 MWh/a, ehk ~500-600 €/a. Hetkel tasuks paigaldada olemasolevale süsteemile sagedusmuundurid. Olemasolevate malmseksioon gaasikatelde arvutuslik kasutegur on 88%. Uuemate analoogsete katelde kasuteguriks on 93-95%.

Hoone keskküttesüsteem on korras. Hoones on kasutusel terasradiaatorid, mille ette on paigaldatud termostaatventiilid, mis tagavad ruumipõhise sisetemperatuuri reguleerimise. Püstikutele on paigaldatud tasakaalustusventiilid. Sisekliimat ei saanud mõõta, kuna auditeerimine toimus mitte kütteperioodil, seepärast ei saa anda hinnangut olukorrale. Peaks teadma, et 1°C võrra sisetemperatuuri muutmine mõjutab soojusenergia tarbimist ~5%. Näiteks alandades hoones sisetemperatuuri 1°C võrra, saavutatakse ~ 17 MWh/a kokkuhoidu.

Hinnang kütte- ja ventilatsioonisüsteemidele ja parendusettepanekud:

Projektkohased sisetemperatuurid põhiruumides on 20-21°C , tehnilistes ruumides 5-16°C. Milliseid temperatuure tegelikult hoones hoitakse, ei olnud suvise aja tõttu võimalik kindlaks teha.

Radiaatorid on varustatud otsetoimeliste termostaatventiilidega, mis siiski ei välista võimalikke kõrgemaid sisetemperatuure.

Ventilatsioonisüsteemid on plaatsoojustagastitega. Projektis on soojustagastite temperatuuritegurid selgelt üle hinnatud (60%). Reaalselt vähendab tagasti jäätumiskaitse temperatuuritegurit sedavõrd, et arvutuse aluseks ei tohiks meie kliimas võtta suuremat numbrit kui 50%. Söökla ventilatsiooniseade on ilma soojustagastita ja kompenseerib nii üldväljatõmmet kui ka kohtäratõmmet. Ruumide jaotus neid teenindavate ventilatsioonisüsteemide vahel tuleneb otseselt ruumide otstarbest ja paiknemisest. Ventilatsioonisüsteemide töörežiim on loogiline.

Küsitav on B-korpuse ventilatsiooni töötamine täismahus kella 5:00 kuni 19:00. Ventilatsioonisüsteemide tööd juhib automaatika, mis on ühendatud võrku. Probleemiks on mõningate spetsiifiliste ruumide liialt väike ventilatsioon.

Tabelis on esitatud arvutuslikud soojusenergia kulud, mis samas erinevad soojusbilansis toodud kuludest. Erinevuse põhjuseks on ebaselge seadmete tegelik töörežiim. Veelgi tõesema tulemuse saavutamiseks on vajalik vastav monitooring. Hoones paikneb ka gaasikatlamaja. Hooldefirma sõnul töötab katlamaja normaalselt ja on varustatud sobivas mahus automaatikaga.

Kontrollida tuleks ruumide sisetemperatuure kütteperioodil ja vajadusel reguleerida. Täpsustada ruumide kasutuskorda ja juhtida vastavalt ventilatsiooni. Viia ventilatsioonisüsteemide töötamise ajad vastavusse tegelike vajadustega. Selle täitmist tuleb pidevalt kontrollida selleks, et ühe või teise töötaja suva järgi ei toimuks „järelreguleerimist”. Juhul, kui ruumide temperatuurides esineb ebahühtlus, tuleb teha hüdrauliline tasakaalustamine. Täpsustada ruumide kasutusotstarve ja viia ventilatsiooni õhuhulgad ruumides sellele vastavaks. Selleks tuleb seadistada ümber nii ventilatsioonigregaaadi tootlikus kui ka reguleerklappide ja lõppelementide seadeasendid. Nimetatud tegevus ei anna otsest energiasäästu, on aga vajalik normaalse sisekliima tagamiseks. Asendada olemasolevad köögi kohtäratõmbed UV-filtritega äratõmmetega või TURBO SVING-tüüpi äratõmmetega. See võimaldab kasutada soojustagastit jääksoojuse utiliseerimiseks. Kasutada tuleks kõrge temperatuuriteguriga vahesoojuskandjaga soojustagastit, mis võimaldab ka soojusvaheti puhastamist. Asendada katlad kondensaatkateldegaga. Asendada katlamaja pumbad sagedusmuunduriga pumpadega.

Energiasääst, maksumus, tasuvus:

Energiasääst sõltub sellest, kas realselt ületatakse vajalikku temperatuuri taset. Arvutuslik sääst kütte kuludest 5%, iga kraadi arvelt, mille võrra temperatuure alandatakse. Kui B-korpuse ventilatsioonisüsteemi saab üle viia samasse režiimi, mis A-korpuse oma, on soojuse sääst 7100 kWh aastas. Kui nii A- kui ka B-korpuse ventilatsiooni saaks viia režiimi, kus süsteemid töötavad täismahus 10 tundi ja ülejäänud aja poole kiirusega, on sääst võrreldes tänase olukorraga 41 500 kWh. Soojustagasti kasutamine annab energiasäästu 95 900 kWh, ehk 6700€ aastas. Agregaatide maksumused on 16 500€. Automaatika maksumus 6 000€. Seadmete paigaldus 9 000€. Täiendav kanalivõrk 4 000€. Kohtäratõmme 20 000€. Süsteemide rekonstrueerimise maksumus kokku on 55 500€. Tasuvusaeg on ~8,5 aastat.

Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid:

Külm tarbevesi saadakse linnavõrgust. Tarnija on Tallinna Vesi AS. Soe tarbevesi valmistatakse hoone katlaruumis plaatsoojusvahetiga. Olmekanalisatsioon juhitakse linnavõrku. Hoonesisene torustik on vahetatud PVC torudega.

Elekter:

Valgustuse osas on kokkuhoidu võimalik saavutada valgustuse kasutamise optimeerimisega ja energiasäästlikumate valgustite kasutuselevõttuga. Valgustuse kasutamise optimeerimist saab tõhustada, kui võtta kasutusele kohaloleku- ja valgustustugevuse andurid. Hoones on toitlustusega tegelev alltarbijaga, kes maksab elektrienergia eest ise. Elektrienergia kokkuhoidu on võimalik saavutada seadmete kasutamise optimeerimisega ja energia-säästlikuma kõõgitehnoloogia kasutuselevõttuga. Võrku antav reaktiivenergia on oma iseloomult mahtuvusliku iseloomuga. Põhjus on ilmselt mahtuvusliku iseloomuga tarbijates. Reaktiivenergia kompensatorid puuduvad. Kui reaktiivenergia osakaal on üle 15 % tarbitavast elektrienergiast, siis reaktiivenergia maksustatakse. Peahoone reaktiivenergia kompensatorite maksumus kujuneb kuskil 10 000€ kanti. Sisaldab mõõdistustöid, projekteerimist, seadmete maksumust ja paigaldamist. Tasuvusajaks kujuneb 3 - 4 aastat. Raha kokkuhoiu mõttes tuleb üle vaadata elektrienergia hinnapaketid. Tuleb optimeerida elektriseadmete kasutamist. Seda eeskätt ventilatsiooniseadmete puhul. Hoonele tuleb ette anda kulunorm, mis oleks ca 20 - 30 % praegusest tarbimisest väiksem. Võimaluse korral tuleb paigaldada täiendavaid elektrienergia arvesteid, nt ventilatsiooni-kilpidesse. Ventilatsiooni osatähtsus on ca 30 %. Väga oluline on valgustuse töö optimeerimine. Valgustuse osatähtsus on 36 %. Tuleb võtta kasutusele energiasäästlikud lahendused (valgustus, ventilatsioon).

Automaatika:

Ventilatsioonist energiasäästu suurendamiseks viia läbi täiendav uuring-küsitlus, kas ruumides ka tegelikult vajatakse 1/1 režiimis tegelikku ventileerimist väljaspool tööaega ehk kell 18:00 kuni 06:00. Kui ei ole olulisi vastunäidustusi, varustada ventilaatorid sagedusmuunduritega ja häälestada öine režiim minimaalse talutava õhukulu peale. Ruumide grupi B115 ventilatsioon teha vajadusel individuaalse soojustagastiga süsteemiga, õhuvõtt läbi välisseina. Radiaatorid, millel puudub termostaat, komplekteerida ning seada maksimaalne temperatuur vastavalt ruumi otstarbele nii uutel kui vanadel termostaatidel. Katlamajas varustada keskkütte tsirkulatsioonipump sagedusmuunduriga. Kõõgi ventilatsiooni totaalne ümberehitus

soojustagastusega variandile, eeldades et süsteemi eluiga on veel pikk, siis lisada see alles järgmise aastakümne investeeringute plaani. Ventilatsiooni seadearvud vajavad optimeerimist. Ka siin võiks kasutada sissepuhketemperatuuri sidumist välistemperatuuri näiduga.

Tabel 11. Õhuvahetuse vähendamise võimalused

Õhuvahetuse vähendamise võimalused	€	Oletatav tasuvusaeg
Soojussõlmes sagedusmuundurid keskkütte pumpadele, automaatika vahetus, mis võimaldaks suuremas ulatuses juhtimisfunktsioone	2200	<5a
Ventilatsiooni seadeparameetrite optimeerimine	1400	
Sagedusmuundurid ventilatsioonile, automaatika laiendus	8000	

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

Nagu nähtub eelpool esitatust, on võimalik märgatavalt hoida kokku kulutusi nii soojus- kui ka elektrienergialt. Põhiline kokkuhoid on saavutatav eeskätt töörežiimide ja seadistuste vastavusse viimisega tegelike vajadustega. Seega on küsimus pigem mitte säästmises, vaid ülemäärase kulutamise lõpetamises. Selle saavutamiseks peavad hooldefirmad ja personal mõtestatult tegutsema. Vastav korraldus peab tulema juhtkonnalt ja konkreetsete tegevusjuhiste saamiseks on otstarbekas kasutada konsultatsioonifirmade abi.

Kulukamate ja aeganõudvamate meetmete puhul tuleks eeskätt varustada soojustagastitega ventilatsioonisüsteemid, mis töötavad ~40 tundi nädalas ja rohkem. Eeldatavad tasuvusajad on võrreldes ehituslike säästulahendustega minimaalsed ja saavutatav kokkuhoid märkimisväärne. Siin ei ole tegemist mitte üksnes energiasäästu, vaid ka hoone säilimise küsimusega.

3.3 Ülevaade säästuettepanekutest

Järgnevalt on esitatud kokkuvõtte hoone energiaauditi läbiviimise tulemustest. Energia keskmine kogukulu aastatel 2006-2011 on mõõdetud soojusele 1138 MWh/a ja elektrile 799 MWh aastas. Normaalaastale taandatud kuue täisaasta soojusenergia keskmine kulu on 1217 MWh/a ja lähtuvalt hoonete köetavast pinnast 6129,8 m² on normaalaasta keskmine soojusenergia

eritarbimine pinnauhikule 199 kWh/m².

Auditi tulemusena on hoone renoveerimiseks välja pakutud säästumeetmed, mille abil on võimalik energia kulu tehniliselt alandada. Alltoodud tabelisse on koondatud võimalikud meetmed, mida oleks võimalik teha.

Hoone aknad on vahetatud, välistarindid on renoveeritud ja ebapiisavalt soojustatud ~ 10 aastat tagasi. Et viia välispiirete soojusjuhtivus vastavusse tänapäeva miinimumnõuetele tuleks teha täiendavad investeeringud renoveerimistöösse. Samas investeeringute tasuvusaeg kujuneb väga pikaks. Kiirema kokkuhoiu saavutamiseks investeerides tehnosüsteemidesse.

Järgnevalt on toodud summaarne tabel, milles kajastuvad hoone kohta pakutavad säästumeetmed. Enamik säästumeetmeid on seotud ventilatsiooni ja küttega. Samas on see vahetult seotud nii elektrienergia tarbimise kui ka automaatikaga.

Tabel 12. Pakutavad säästumeetmed

Hoone osad	Parendusmeetmed	Meetme maksumus (€)	Energiasääst (MWh/a)	Säästuväärtus (€/a)	Lihttasuvusaeg (aasta)	Milla teha
Säästumeetmed I						
Välisseinad 4149 m ²	Lisasoojus 150 mm	120 000	81	5 670	21	kohe
Aknad 574 m ²	Asendada 3-klaasiga selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett akendega	79 000	51	3 570	22	Kohe koos fassaadide renoveerimisega
Küttesüsteem	Kontrollida ruumide sisetemperatuure kütteperioodil ja reguleerida	-	17	1 200	-	Kohe
Küttesüsteem	Süsteemi hüdrauliline tasakaalustamine	3 000	20	1 400	2	Peale fassaadide renoveerimist
Ventilatsioon	süsteemide töörežiimide seadistamine	-	7 - 41	500 - 2 900	-	Kohe
Elekter	Reaktiivenergia kompensatorite paigaldamine	10 000	~20	~2 400	3 - 4	Kohe
Elekter	Hoonele kulunorm, mis oleks ca 20...30 % praegusest tarbimisest väiksem	-	~150	~18 000	-	Kohe
Automaatika	Sagedusmuundurid ventilatsioonile, automaatika laiendus, seadeparameetrite optimeerimine	9 000			<5	Kohe koos ventilatsiooniga
Automaatika	Soojussõlmes sagedusmuundurid keskkütte pumpadele; automaatika lisatööd; automaatika vahetus, mis võimaldaks suuremas ulatuses juhtimisfunktsioone	2 200			<5	Kohe
Säästumeetmed II						
Ventilatsioon	Soojustagastiga süsteem	55 500	96	6 700	8 - 9	Tulevikus
Katlasüsteem	Asendada katlamaja pumbad sagedusmuunduriga pumpadega	3 000	6 - 8	500 - 600	5	Tulevikus vajadusel
Katlasüsteem	Asendada katlad kondensaatkateldega	30 000		6 000	5	Tulevikus vajadusel
Säästumeetmed III						
Katuslagi 1600 m ²	Lisasoojus 150 mm	48 000	40	2 800	17	Tulevikus

Allikas; Autori koostatud allika 7 andmetel

KOKKUVÕTE

Eestis ja ka teistes riikides oleneb suur osa energiatarbest elamute ja ühiskondlike hoonete energiavajadusest. Energiatarbe vähendamine olemasolevates hoonetes ja selle minimeerimine uutes hoonetes on üheks suuremaks väljakutseks ja olulisemaks probleemiks, mis on ka võetud käesoleva lõputöö eesmärgiks sellele kaasa aidata ning tähelepanu pöörama. Olgu nad siis omanikud, tellijad, arhitektid, projekterijad, ehitajad või haldurid. Nii madala energiatarbe kui hea sisekliima tagamine nõuab kõigilt osapooltelt mõistmist hoone kui terviku toimimist energia ja sisekliima vaatepunktist.

Käesolevas lõputöös on analüüsitud ühe konkreetse hoone energiatarbimist, antud sellele hinnang ning tehtud esmased ettepanekud energiatarbe vähendamiseks ja sisekliima parandamiseks. Arvestades hoone ehitusaega ning kasutuse eripära, leidis hoone puhul liigset energiakulu, mida on võimalik väiksemal või suuremal määral vähendada. Kiirema kokkuhoiu saavutamaks investeerides tehnosüsteemidesse ning lõpetada tuleks ülemäärane kulutamine, viies seadistused vastavusse tegelike vajadustega.

SUMMARY

THE ENERGY EFFICIENCY OF COMMERCIAL BUILDINGS AND ANALYSIS OF SUITABILITY FOR USERS

Rene Uuspõld

Language: Estonian

Pages: 49

References: 15

Tables: 12

There are lot of available buildings in Estonia, where the problem is the excessive consumption of energy, these buildings energy loss is large. Users also pay for the energy they actually don't use. Winner is the energy seller. The purpose is to draw attention to reduce energy consumption in existing buildings and the importance of opportunities to build new energy-efficient buildings. Reduction of energy consumption in existing buildings and minimization in new buildings is one of the biggest challenge and the most important problem. Whether they are owners, customers, architects, designers, builders or managers. To ensure the low energy consumption and good indoor climate, requires all parties to understand the operation of the building.

Here is the analysis of a specific building energy consumption, given the rating and made initial recommendations to reduce energy consumption and improve the indoor environments. There was found excessive energy consumption of the building that can be reduced. Higher rates of savings can be achieved through investing in technical systems. Settings must be brought into line with actual needs and should terminate the excessive spending.

VIIDATUD KIRJANUUDS

1. Enno Abel, Hendrik Voll. Hoonete energiatarve ja sisekliima.
2. Nilsson, P.E. Achieving the desired indoor climate; Studentlitteratur, Lund, 2003.
3. Oje L. The role of indoor building characteristics as exposure indicators and risk factors for development of bronchial obstruction in early childhood; Norwegian University of science and Technology, 1998.
4. Hoone energiaaudiitorite koolitus; Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
5. Energiatõhus renoveerimine.
<http://www.paroc.ee/oskusteave/energiatohusus/energiatohus-renoveerimine>
(24.05.2014).
6. Energiatõhus maja.
<http://www.timbeco.ee/tooted/elementmajad/milline-on-energiatohus-maja/>
(07.09.2014).
7. Hoonete energiaaudit; Inseneribüroo Aksiaal OÜ, 2012.
8. Hoone ruumide sisekliima.
<http://www.property24.ee/?lang=est&m1=4&m2=58&m3=118>
(14.09.2014).
9. Sisekliima.
<http://www.toelu.ee/et/tegevusalad/haridus-ja-kultuur/haridus/sisekliima>
(17.09.2014)
10. Halb sisekliima hävitab hoone ja tervise.
<http://savent.ee/halb-sisekliima-havitab-hoone-ja-tervise/>
(27.09.2014)
11. Sisekliima uuringud. <http://www.ehitusuuringud.ee/teenused/sisekliima-uuringud/>
(28.09.2014)
12. Eesti standard EVS-EN 15251:2007.
<http://www.evs.ee/eelvaade/evs-en-15251-2007-et.pdf>
(02.10.2014)

13. Energiatõhusus. <http://et.wikipedia.org/wiki/Energiat%C3%B5husus>
(23.11.2014)
14. Hoonete energiatohusus.
<https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/chitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>
(27.12.2014)
15. Energiatõhusus. <http://www.nordicpm.eu/et/energiatohusus>
(08.01.2015)

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis
on minu iseseisva töö tulemus, on
esitatud Tallinna Tehnikaülikooli
diplomi taotlemiseks.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, põhimõttelised seisukohad,
kirjanduslikest allikatest ja mujalt pärinevad
andmed on viidatud.

Autor Rene Uuspõld

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilaskood: 083626

Töö vastab kehtivatele nõuetele

Juhendaja Roode Liias

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmisele lubatud " " 2015

.....

TTÜ TK kaitsmiskomisjoni esimees (nimi, allkiri)