Sisukord

3.2 Küttesüsteemid 2
3.2.1 Soojuskaod ja küttesüsteemi arvutuslik võimsus 2
3.2.2 Küttesüsteemid ja nende liigitus 3
3.2.2.1 küttesüsteemide üldine liigitamine 3
3.2.2.2 Vesiküttesüsteemi ülesehitus 3
3.2.2.3 Õhkküttesüsteemide iseärasused 4
3.2.2.4 Vesiküttesüsteemides kasutatavad torud 5
3.2.3 Küttekehad ja nende soojusväljastuse reguleerimine 6
3.2.4 Küttesüsteemide renoveerimine 9
3.2.5 Küttesüsteemide probleemideta ja efektiivne töö 10
3.2.6 Küttesüsteemide kontroll ja katsetamine 10

3.2 KÜTTESÜSTEEMID

3.2.1 SOOJUSKAOD JA KÜTTESÜSTEEMI ARVUTUSLIK VÕIMSUS

Tingituna õhutemperatuuride erinevusest hoone sees ja hoonest väljas, toimub pidev soojuse liikumine läbi piirdetarindite. Kuna liikumine leiab aset alati kõrgema potentsiaaliga poolelt madalama potentsiaaliga poolele. Seetõttu ruumi õhutemperatuurist madalamatel välisõhutemperatuuridel kaotab hoone soojust, mistõttu räägitaksegi **soojuskadudest**.

Soojuskaod koosnevad mitmest osast:

- *soojuskaod läbi piirdetarindite* e *soojusläbikandekaod* Φ_{pk} (välisseinad, katused, põrandad pinnasel ja välisõhu kohal, aknad, välisuksed, rõduuksed, sh ka kõik **sisepiirded** kui arvutuslike siseõhutemperatuuride erinevus nende vastaspooltel on 5 °C või rohkem);
- *infiltratsiooni soojuskaod* Φ_{inf} e külma välisõhu sisseimbumisest hoonekarbi ebatiheduste kaudu tingitud soojuskaod hoones;
- *ventilatsiooni soojuskaod* Φ_{vent} e ruumi õhutamiseks kasutatava välisõhu soojendamiseks vajalik soojus. See puudutab ainult neid hooneid, kus kasutatakse mehaanilist väljatõmbeventilatsiooni ja läbi välisseintes olevate värskeõhuklappide imetakse väljast asemele soojendamata õhk. Viimane soojendatakse üles ruumis olevate küttekehade poolt. Selline, ilma soojustagastuseta õhuvahetuse kasutamine on energiatõhusust silmas pidades väga ebaefektiivne ja ka kaasaegsetes ehitatavates hoonetes ei võimalda see saavutada uusehitiste rajamiseks vajalikust miinimum energiatõhususklassist paremat. Juhul kui hoones on nö täisventilatsioon – mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon, arvestatakse ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajalik soojus kalorifeeride soojusvarustussüsteemi juurde.

Hoone soojuskaod on avaldatavad kujul:

$\Phi = \Phi_{pk} + \Phi_{inf} + \Phi_{vent}$ W

Soojuskadude suurus oleneb:

- arvutuslikust siseõhutemperatuurist $t_{õ}$;
- arvutuslikust välisõhutemperatuurist t_v;
- piirdekonstruktsioonide soojusläbikandetegurist U_{pk};
- soojust kaotavate pindade suurusest A;
- õhuvahetuse organiseerimise tehnilisest lahendusest (kas soojustagastusega või mitte).

$\Phi_{pk} = A*U*(t_{õ} - t_v)$ W

kus A – piirde pindala m²

U – piirde soojusläbikandetegur W/m²*K

$\Phi_{inf} = L_{inf}*\rho_{õ}*c_{õ}*(t_{õ} - t_v)$ W

kus L_{inf} – läbi välispiirete ajaühikus tungiv infiltratsiooniõhu hulk m³/s

$\rho_{õ}$ – õhu tihedus; ≈ 1,2 kg/m^3

$c_{õ}$ – õhu erisoojus; ≈ 1000 kJ/kg*°C

$\Phi_{vent} = L_{vent}*\rho_{õ}*c_{õ}*(t_{õ} - t_{v})$

kus L_{vent} – ventilatsiooniõhu vooluhulk m^3/s.

Eeltoodud valemitest on näha, et hoone soojuskaod on seda suuremad, mida kõrgem on siseõhutemperatuur $t_{õ}$ ja madalam välisõhutemperatuur t_{v}, ning mida valdavam on suure U-arvuga välisõhuga kokkupuutuvate piirete osakaal. Viimaste kõige tüüpilisemaks näiteks on klaaspinnad.

Hoone küttesüsteemi arvutuslik võimsus, mis ühtlasi on soojusallika suuruse valiku aluseks, moodustub üksikute köetavate ruumide soojuskadude summast ja on sellega võrdne või natukene suurem (ümmardades soojuskadusid ülespoole). Igasuguste täiendavate „lisade“ kasutamine ei ole otstarbekas kuna suuremad soojuskaod eeldavad suuremaid küttekehasid, suuremaid soojusallikaid, suurema läbimõõduga torusid ja isolatsiooni suuremat toru- ja reguleerarmatuuri. Ühelt poolt maksavad suuremad asjad reeglina rohkem, teiselt poolt töötavad üledimensioneeritud küttesüsteemid ebaefektiivsemalt.

3.2.2 KÜTTESÜSTEEMID JA NENDE LIIGITUS

3.2.2.1 KÜTTESÜSTEEMIDE ÜLDINE LIIGITAMINE

- **soojusallika asukoha** järgi
  - kohtküttesüsteemid, kus soojusallikas kütab sama ruumi, kus ise asub
  - keskküttesüsteemid, kus soojusallikas kütab tervet hoonet v hoonete kompleksi
- **kasutusviisi** järgi
  - pidev küte
  - perioodiline küte
  - ajutine küte
- **soojuskandja liikumisviisi** järgi
  - loomuliku ringlusega küte
  - sundringlusega küte
- **soojusenergia** küttekehalt ruumi **ülekandmisviisi** järgi
  - kiirgusküte
  - konvektiivküte
- **energiakandja** järgi
  - fossiilkütusel baseeruv küte
  - biokütusel baseeruv küte
  - elekterküte
  - otsene elekterküte – elekter muundatakse vahetult soojuseks
  - kaudne elekterküte – elektrit kasutatakse soojust maapinnast, veest, õhust jne ammutava seadme töös hoidmiseks, n **soojuspumbad**
- **küttekehade tüübi** järgi
  - radiaatorküte
  - konvektorküte
  - paneelküte
  - põrandküte
  - lagiküte jne
- **alternatiivsed taastuvenergiaallikad** –
- päike, tuul, voolav vesi jne

3.2.2.2 VESIKÜTTESÜSTEEMI ÜLESEHITUS

Küttesüsteem koosneb kolmest lülist:

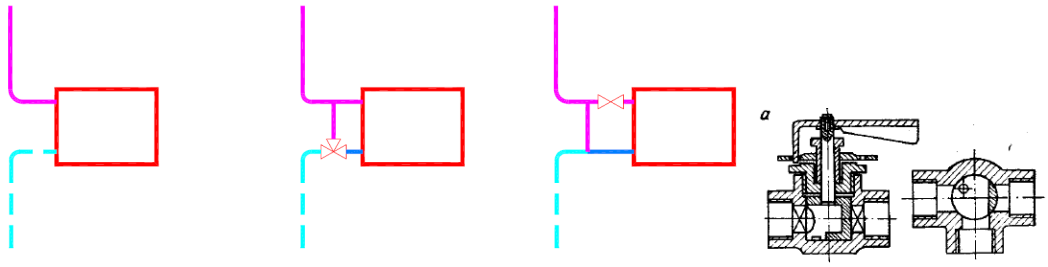
- soojuse tootmine (katel, soojuspump, soojusvaheti);
- soojuse transportimine ja jaotamine (torustikud);
- soojuse tarbimine (radiaatorid, kalorifeerid jmt).

Soojusallikate ülesandeks on võimalikult efektiivselt soojust toota kütuseid põletades (katlad), energiat muundades (soojuspumbad) või soojust teistest allikatest üle kandes (soojusvaheti). Küttesüsteemi torustikud peavad olema projekteeritud ja välja ehitatud selliselt, et nad tagaksid toodetud soojuse transportimise minimaalsete kadudega vajalikus koguses iga soojustarbijani.

Olenevalt asukohast liigitatakse küttesüsteemi torustikud:

- magistraaltorud – ühendavad soojusallikat ja jaotustorustikku; kõige suurema läbimõõduga torud küttesüsteemis. Nende paiknemisel hoone keldris räägitakse **alumise jaotusega** küttesüsteemist. Kui pealevoolumagistraal on hoone pööningul siis on tegemist **ülemise jaotusega** küttesüsteemiga.
- jaotustorustik – ühenduslüli magistraaltorude ja lõpptarbijate (küttekehade) vahel. Nende paiknemise järgi liigitatakse küttesüsteemid **horisontaalseteks** ja **vertikaalseteks**. Viimaseid nimetatakse püstikuteks.
- ühendustorud – torud küttekehade ühendamiseks jaotustorustikuga; kõige väiksema läbimõõduga torud küttesüsteemis.

Sõltuvalt küttekehade ühendusviisist jaotustorustikega jagunevad küttesüsteemid **1-toru-** ja **2-torusüsteemideks**. Esimesel juhul ühendatakse küttekehad jaotustorustikuga *järjestikku*, teisel juhul *paralleelselt*. Enne 90-ndaid aastaid ehitatud hoonetes on valdavalt 1-toruküttesüsteemid, hilisemates ehitistes 2-toruküttesüsteemid. See on seletatav asjaoluga, et üks 1-toruküttesüsteemide peamistest eelistest – suhteliselt ühtlane ja stabiilne vooluhulkade jagunemine toimiva reguleerarmatuuri puudumise tingimustes, on kadunud. Kaasaegsed küttesüsteemid on võimalik varustada reguleer- ja seadeventiilidega, millede abil saab süsteemi hüdrauliliselt välja häälestada – tasakaalustada, ning tema tööd vastavalt konkreetsele soojusvajadusele juhtida.



Läbivoolne 3-tee ventiiliga 2-tee ventiiliga Vana 3-tee ventiil

Joonis 3.2.1 Küttekehade erinevad ühendusvõimalused 1-toruküttesüsteemides

Eelkirjeldatud küttesüsteemide liigitus puudutab ainult **vesiküttesüsteeme**. Olenevalt soojuskandja iseloomust leiavad kasutamist veel **õhkküttesüsteemid** ja **aurküttesüsteemid**. Viimaseid võib kohata vanemates tööstushoonetes. Tänapäeval auru vahetut juhtimist küttekehadesse enam ei kasutata kuna sellised süsteemid on küllalt kõrge maksumuse ja ekspluatatsioonikuludega.

3.2.2.3 ÕHKKÜTTESÜSTEEMIDE ISEÄRASUSED

Õhkküttesüsteeme kasutatakse peamiselt ühiskondlikes- ja tööstushoonetes. Sissepuhkeõhu kvaliteedi järgi liigitatakse õhkküttesüsteemid:

- **retsirkulatsiooniõhuga** süsteemid;
- **osalise retsirkulatsiooniõhuga** süsteemid;
- **välisõhuga** süsteemid.

Retsirkulatsiooniõhuga süsteemi puhul on tegemist puhtalt küttesüsteemiga, osalise retsirkulatsiooniõhuga ja välisõhuga süsteemide puhul räägitakse ühitatud kütte- ja ventilatsioonisüsteemidest.

Õhu täieliku retsirkulatsiooniga õhkküttesüsteeme on võimalik kasutada ruumides, kus puuduvad igasugused kahjulikud eritised. Kasutada ei tohi selliseid süsteeme elu- ja nendes tootmisruumides, millede õhus leidub mürgiseid aineid, kahjulikke mikroorganisme, ebameeldivaid lõhnasid, kergesti lenduvaid aineid jne.

<u>Õhkküttesüsteemide eelised:</u>

- puuduvad küttekehad;
- väike metallivajadus;
- väike ruumivajadus;
- montaaž suhteliselt vähetöömahukas;
- võimalik ruume kiiresti üles kütta;
- suvisel ajal võimalus sama süsteemi kasutada ruumide jahutuseks.

<u>Õhkküttesüsteemide puudused:</u>

- väikese niiskuskoormuse korral madal õhu suhteline niiskus ruumis;
- võimalikud lubatust suuremad õhuliikumiskiirused inimeste viibimistsoonides;
- õhukanalitele sobilike asukohtade leidmine keskõhkküttesüsteemide korral;
- sooja sissepuhkeõhu olekutsooni jõudmist kindlustavate sobilike õhujaotusseadmete täpne valik keskõhkküttesüsteemides;
- ruumi sissepuhutava õhu piiratud temperatuur (soovitavalt <35 °C).

3.2.2.4 VESIKÜTTESÜSTEEMIDES KASUTATAVAD TORUD

Tänapäeval kasutatakse küttesüsteemides väga erinevast materjalist torusid. Ehituspraktikas leiavad kasutamist peamiselt teras-, plast- (PE-Xa, PP-R) ja nn komposiit-e kihttorud (PP-R Stabi, PE-Xa-Al-PE-Xa), mis sisuliselt on üks plasttorude alaliikidest.

- **terastorud**

<u>plussid</u>

- suurepärane mehaaniline tugevus
- võib paigaldada avatult, jääb esteetiline ja korrektne;
- väike joonpaisumine
- talub kõrgeid soojuskandja temperatuure;
- difusioonikindel;
- pikaealisus, mis õige ekspluatatsiooni korral võib ulatuda üle 50 aasta;
-

<u>miinused</u>

- korrosioonioht kui soojuskandja kvaliteet (eriti O_2-sisaldus) ei ole nõuetekohane;
- paigaldamisel töömahukam, veetihedate ühenduste tegemine eeldab väljaõppinud ja kogemustega paigaldajaid (eriti problemaatiline on heade spetsialistide nappuse tõttu) torustiku ühendamine keevisühendusega);
- suhteliselt kõrge omahind ja paigalduse maksumus.

- **plastmasstorud**

plussid

- korrosioonikindel;
- vastupidav erinevatele kemikaalidele;
- sobiv paigaldamiseks agressiivsetesse keskkondadesse;
- paigaldamine kiire ja lihtne, mistõttu puudub vajadus eriväljaõppega paigaldajate järgi;
- madal omahind ja paigalduse maksumus;

miinused

- mehaanilise vigastamise oht, mistõttu avatud paigalduseks pole soovitav kasutada; selle vastu räägib ka asjaolu, et plasttorude puhul on problemaatiline korrektse, sirgjoonelise lõpptulemuse tagamine;
- suur soojuspaisumine; seega tuleb küttesüsteemis arvestada torude pikenemise kompenseerimise vajadusega;
- ei ole difusioonikindlad;
- tundlikud ultraviolettkiirguse suhtes;
- piiratud töörõhk ja töötemperatuur; mida kõrgematel tööparameetritel kasutada, seda lühem eluiga.

- **komposiit- e kihttorud**

plussid

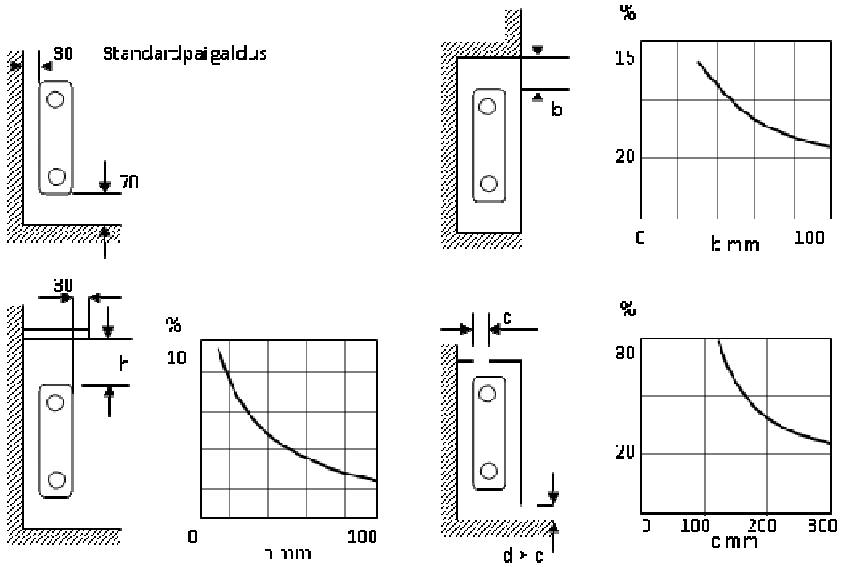
- korrosioonikindel;
- difusioonikindel;
- sobiv paigaldamiseks agressiivsetesse keskkondadesse;
- paigaldamine kiire ja lihtne, mistõttu puudub vajadus eriväljaõppega paigaldajate järgi;
- madal omahind ja paigalduse maksumus.

miinused

- mehaanilise vigastamise oht;
- elektrokeemilise korrosiooni tekkimise võimalus liitekohtades;
- paigaldamisel toru deformeerimise oht.

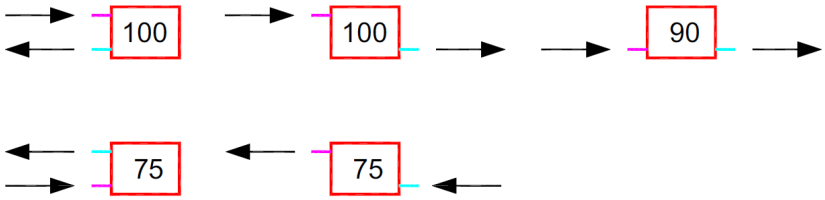
3.2.3 KÜTTEKEHAD JA NENDE SOOJUSVÄLJASTUSE REGULEERIMINE

Küttekehade ülesandeks on soojuskadude kompenseerimiseks vajaliku soojusenergia ülekandmine küttesüsteemis ringlevalt soojuskandjalt köetavatele ruumidele. See ülekanne on seda parem, mida avatumalt küttekeha ruumis paikneb. Küttekeha varjamine kilpidega või tema paiknemine niššis või aknalaua all, vähendavad soojusülekannet. See tähendab, et samasuguse soojusvoo ülekandmiseks küttekehalt ruumi õhule kui avatud paigalduse puhul, tuleb küttepinda suurendada. Seda võib näha joonisel 3.2.2 toodud graafikute alusel.



Joonis 3.2.2 Küttekehade paigalduskoha mõju nende soojusväljastusele

Teiseks mõjutab küttekeha soojusväljastust soojuskandja voolusuund küttekehas: ülevalt-alla ühenduse puhul mõju puudub, alt-alla ühenduse puhul väheneb soojusväljastus ca 10% ja alt-ülesse skeemi korral kuni 25% (vt joonis 3.2.3)



Joonis 3.2.3 Voolusuuna mõju küttekehade soojusväljastusele %-des maksimaalsest

Küttekehade valikuks peavad olema teada:

- paigaldusruumi otstarve;
- paigaldusruumi soojuskaod;
- paigaldusruumi arvutuslik siseõhutemperatuur;
- kasutatava soojuskandja arvutuslikud temperatuurid.

Ruumi paigaldatavate küttekehade summaarne võimsus peab olema vähemalt sama suur kui on selle ruumi soojuskaod. Soojusvool küttekehalt ruumi oleneb selle küttekeha konstruktsioonist ja soojusläbikandetegurist, küttepinna suurusest ning küttekehasse siseneva ja küttekehast väljuva soojuskandja ning ruumi õhutemperatuuride logaritmilisest vahest.

Küttekehade soojusväljastust mõjutavad:

- tema konstruktsioon - mida suuremast arvust elementidest on koostatud küttekeha, seda halvem on tema soojusväljastus pinnaühikult, kuna naabersektsioonid takistavad üksteise soojuskiirguse levikut ruumi;
- küttekeha kuju;
- küttekeha pinna, ümbritseva õhu ja ruumi seinapindade temperatuurid;
- erinevus küttekeha läbivast arvutuslikust vooluhulgast;
- küttekeha värvimine - kasutatava värvi koostis ja värvus; näit alumiiniumvärvi kasutamisel väheneb malmribiradiaatori soojusväljastus 8,5%, paneelradiaatoril 13%; konvektorite ja ribitorude värvimine oluliselt nende soojusväljastust ei mõjuta;
- ekspluatatsioonilised tegurid nagu küttekehade sisepindade saastatus ja õhu olemasolu või puudumine küttekehas jmt.

<u>Küttekehasid liigitatakse peamiselt kahe tunnuste alusel:</u>

soojusülekandeviisi järgi:

- kiirguslikud küttekehad - väljastavad üle 50% soojusest kiirguse teel (lagiküte, kiirgurid);
- küttekehad, mis väljastavad 50...75% soojusest konvektsiooni teel (sektsioon- ja paneelradiaatorid, siletoru küttekehad, põrandküte);
- konvektiivsed küttekehad - väljastavad üle 75% ruumi antavast soojusest konvektiivsel teel (konvektorid, ribitorud).

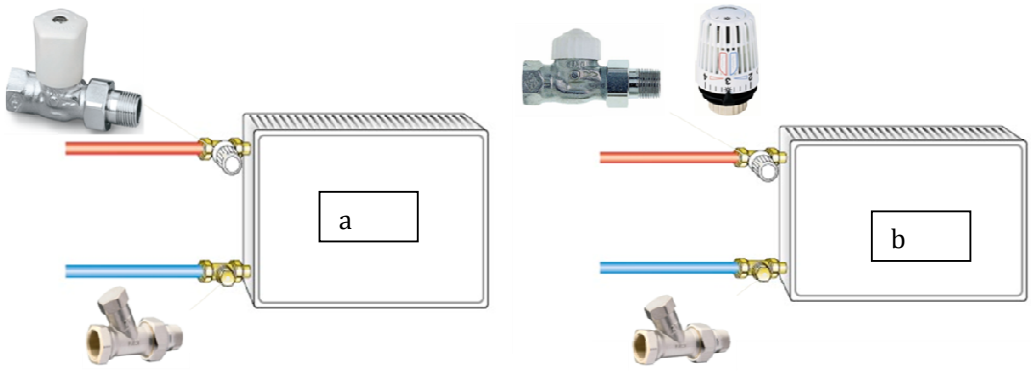
kasutatava materjali järgi:

- metallist küttekehad:
  - teras (terasplekk, terastoru);
  - malm (sektsioonküttekehad, ribitorud);
  - alumiinium (sektsioonküttekehad);
  - bimetall (teras-alumiinium, vask-alumiinium, teras-vask sektsioon- ja paneelküttekehad);
  - vask (toruküttekehad).
- mittemetalsed küttekehad:
  - betoonist kütteelemendid;
  - keraamilised küttekehad;
  - plastmassist küttekehad.

Küttekehade soojusväljastuse reguleerimiseks paigaldatakse nende ette (vaadatuna soojuskandja voolamise suunas), harvem peale neid, ühendustorudele reguleerventiilid (joonis 3.2.4). Küttekehadest väljuvale, tagasivoolutorule ühendatud ventiilid täidavad reeglina sulgemisfunktsiooni, harvem vooluhulga piiraja rolli. 2-toruküttesüsteemides on viimane väga oluline kuna iga küttekeha süsteemis moodustab omaette vooluringi. Küttesüsteemi normaalse toimimise üheks peamiseks eelduseks on aga võrdse hüdraulilise takistusega kütteringid. Seda saab tagada vaid muudetava takistusega ehk nn eelseadistusega ventiilide kasutamisega. Selle nõude eiramine toob endaga kaasa tõsiseid probleeme ja on üheks peamiseks 2-toruküttesüsteemide ebaefektiivse töö põhjuseks. Küttekeha soojusväljastuse reguleerimine toimub kas käsitsi või termostaatpea poolt, radiaatorventiili reguleerosa asendi (läbivooluava ristlõike) muutmise teel.

[Type a quote from the document or the summary of an interesting point. You can position the

text box anywhere in the document. Use the Text Box Tools tab to change the formatting of the pull quote text box.]



Joonis 3.2.4 Küttekehade soojusväljastuse reguleerimine käsiventiiliga (a) ja termostaatventiiliga (b)

Kasutades termostaatpeas soojustundliku ainena vedelikku, mis on kokkusurumatu, saavutatakse suur sulgemisjõud ja väike hüsterees. Hüsterees on termostaatventiili avanemis- ja sulgemis-tunnuskõverate vaheline temperatuurierinevus kraadides. Mida väiksem see erinevus on, seda suurem on temperatuuri reguleerimistäpsus. Euronormis EN215 on selle lubatud suuruseks antud 1K. Sellele vastab ka ruumi õhutemperatuuri kõrvalekalle 1K. Teades aga, et iga kraadi ülekütmisega kaasneb ca 6% võrra suurem soojustarbimine, pole raske taibata võimalikult väikese hüstereesi olulisust energiasäästu saavutamiseks. Parimatel termostaatidel on hüsterees ca 0,2 K, e saavutatav reguleerimistäpsus 5 korda parem normides nõutust. Sulgemisaja mõju reguleerimise efektiivsusele seostub eelkõige selle stabiilsusega. Pikk sulgemisaeg tagab küll stabiilse reguleerimise, aga seda suurte õhutemperatuuri kõrvalekallete juures. Liiga lühike sulgemisaeg ebaõigesti valitud ventiili puhul põhjustab „ülereguleerimist“, millega kaasneb õhutemperatuuri reguleerimine „kinni-lahti“ režiimis. Kõrgete veetemperatuuride korral ja üledimensioneeritud küttekehadega küttesüsteemis võimendub selline ebastabiilne reguleerimine eriti. Sellises olukorras pole võimalik saavutada ka kontrolli küttekehade soojusväljastuse üle, mille paratamatuks tagajärjeks on soojuse raiskamine ja ebarahuldav sisekliima.

3.2.4 KÜTTESÜSTEEMIDE RENOVEERIMINE

Enam kui 10 aasta vanuste hoonete kütteüsteemid ei vasta kaasaja nõuetele kuna neis puudub ennekõike küttekehade soojusväljastuse individuaalse reguleerimise võimalus. Nad töötavad muutumatute vooluhulkadega, olenemata tegelikust soojustarbimisest hoones. Soojuskoormuse reguleerimine toimub ainult soojussõlmes tervele süsteemile korraga, mistõttu tekkiv vabasoojus jääb praktiliselt kasutamata ja ruumid köetakse üle. Teine vanade süsteemide puudus on nende hüdrauliline tasakaalustamatus, millega kaasneb soojuse ebaühtlane jagunemine köetavas hoones – soojussõlmele lähemal olevad ruumid köetakse üle, kaugemates tekib soojuse puudujääk. Sellise olukorra lahendamiseks kasutatakse harilikult kahte „lahendust“ – suurendatakse küttesüsteemis ringlevat soojuskandja hulka või tõstetakse pealevoolutemperatuuri. Esimesel juhul kaasneb sellega ringluspumba väljavahetamine ja suurem elektrienergia kulu, teisel juhul enamike ruumide ülekütmine. Seega mõlemal juhul kaasneb energiatarbimise kasv ja ekspluatatsioonikulude suurenemine. Seetõttu on õigem küttesüsteemid tasakaalustada ja anda võimalus igat küttekeha eraldi reguleerida.

Vanade küttesüsteemide renoveerimisel tuleb tähelepanu pöörata ka müra- ja õhuprobleemide ennetavale lahendamisele ning soojussõlmede töö efektiivsemaks muutmisele. Müraprobleemid tekivad eelkõige 2-toruküttesüsteemides vooluhulkade vähenemisega termostaatventiili sulgumisel. Mida rohkem ventiile on samaaegselt suletud seda tõenäolisem on müra tekkimine avatud asendis olevates termostaatventiilides. Põhjuseks on rõhuvahe kõikumised muutuvate vooluhulkade korral süsteemis. Ekslik on arvata, et seda probleemi saab lahendada muutuva pöörlemissagedusega pumpade kasutamisega. Soovitud tulemuse tagab rõhuvaheregulaatorite kasutamine süsteemi harudel.

Vanade 1-toruküttesüsteemide renoveerimiseks on kaks võimalust:

- osaline – olemasolevad küttekehad ja jaotustorustik säilitatakse, radiaatorite ette paigaldatakse termostaatventiilid, vajadusel lisatakse möödavoolutoru ning seadeventiilid, püstikutele pannakse tasakaalustusventiilid ja küttesüsteem tasakaalustatakse;
- täielik – olemasolev küttesüsteem demonteeritakse ja asemele ehitatakse kaasaegne 2-toruküttesüsteem.

3.2.5 KÜTTESÜSTEEMIDE PROBLEEMIDETA JA EFEKTIIVNE TÖÖ

Küttesüsteemide probleemideta ja efektiivse töö tagavad:

- optimaalselt valitud küttekehad ja torustikud;
- küttekehade paiknemine kohtades, kus on kõige intensiivsem soojuskadu ja puuduvad soojusülekannet takistavad tegurid (harilikult välisseinte ääres akende all);
- ruumi vabasoojuse maksimaalne ärakasutamine A-energiaklassi termostaatidega;
- arvutuslike vooluhulkade tagamine hüdraulilise tasakaalustamisega kõikjal küttesüsteemis;
- õige staatilise rõhu hoidmine süsteemis;
- soojuskandjas erinevates vormides esineva õhu pidev eraldamine ja eemaldamine küttesüsteemist;
- soojuskandja pealevoolutemperatuuri reguleerimine olenevalt välisõhutemperatuurist;
- alandatud õhutemperatuuriga kütmisrežiimide kasutamine öisel ajal ja väljaspool ruumide/hoonete kasutusaega;
- alternatiivsete energiakandjate (biokütused, päike, tuul, hüdroenergia), soojuspumpade ja heitsoojuse kasutamine soojuse tootmiseks.

3.2.6 KÜTTESÜSTEEMIDE KONTROLL JA KATSETAMINE

Küttesüsteemide vastuvõtmiseks tuleb:

- veenduda tegeliku olukorra vastavuses projekteeritule;

- jälgida, et kasutatud seadmed ja materjalid oma omadustelt ja kvaliteedilt vastaksid projekteeritule või oleksid sellest paremad; tootjafirma nimi ei taga seda automaatselt, vaid tuleb kontrollida ning võrrelda seadmete ja materjalide tehnilisi näitajaid;
- teostada visuaalne ülevaatus jälgides seadmete nõuetekohast paigaldust, torustike kaldeid, tühjendus- ja õhutusseadmete olemasolu, isolatsiooni terviklikkust jmt;
- süsteem survestada rõhuga, mis ületab maksimaalse töörõhu MOP vähemalt 1,5 korda. Seejuures rõhulang 2 tunni jooksul ei tohi ületada 0,02 MPa;
- süsteem montaažijärgselt läbi pesta;
- süsteem korralikult täita ja õhutada;
- teostada hüdrauliline tasakaalustamine. Peale tasakaalustamist koostatakse tasakaalustusraport, kus märgitakse ära nii arvutuslikud kui tegelikult mõõdetud vooluhulgad;
- veenduda reguleerseadmete ja pumpade nõuetekohases toimimises;
- veenduda lubatud müratasemete tagamises ruumides, kus kasutatakse õhkkütteseadmeid;
- kontrollida sooja õhu jõudmist olekutsooni õhkkütte korral.

Sisukord

3.3 Jahutussüsteemid 13
3.3.1. Liigsoojuse allikad ja jahutussüsteemi arvutuslik võimsus 13
3.3.2 Jahutussüsteemid ja nende liigitus 15
3.3.2.1 Jahutussüsteemide üldine liigitamine 15
3.3.2.2 Vahekülmakandjaga jahutussüsteemi ülesehitus 15
3.3.2.3 Otseaurustusega jahutussüsteemide iseärasused 17
3.3.3 Jahutussüsteemi lõppseadmed ja nende töö reguleerimine 17
3.3.4 Jahutussüsteemide probleemideta ja efektiivne töö 19
3.3.5 Jahutussüsteemide kontroll ja katsetamine 20

3.3 JAHUTUSSÜSTEEMID

3.3.1. LIIGSOOJUSE ALLIKAD JA JAHUTUSSÜSTEEMI ARVUTUSLIK VÕIMSUS

Sisekliimat mõjutavad soojuse allikad asuvad nii väljaspool hoonet kui hoones endas. Madalatel välisõhutemperatuuridel, kui vajaliku siseõhutemperatuuri tagamiseks on vaja hooneid kütta, saab osa nende soojusallikate poolt eraldavast soojusest selleks otstarbeks ka ära kasutatud, vähendades sellega tarbitava primaarenergia (elekter, kütused) hulka. Seda osa „tasuta" lisasoojusest, mida ei ole arvestatud küttesüsteemi projekteerimisel nimetatakse **vabasoojuseks.** Ruumides talvisel ajal õhutemperatuuri hoidmisele kuluvast vabasoojusest üle jääv osa on **liigsoojus**, mis põhjustab temperatuuri tõusu üle soovitusliku piiri ja tuleb seetõttu ruumist eemaldada. Mingi kogus liigsoojusest eemaldatakse ventilatsiooni abil, põhiline roll jääb aga jahutussüsteemidele. Suvisel ajal kui küttevajadus puudub on liigsoojus võrdne vabasoojusega. Teisisõnu, kogu välistest ja sisemistest soojusallikatest ruumi eralduv soojus tuleb ruumist eemaldada. Suvistest normatiivsetest siseõhutemperatuuridest kõrgematel välisõhutemperatuuridel ventilatsioon ruume ei jahuta ja kogu vabasoojus- koormus jääb jahutussüsteemi kanda. Energia säästmiseks kasutatakse küll ventilatsiooni ruumide intensiivseks jahutamiseks öisel ajal kui välisõhutemperatuur ja hoone iseärasused seda võimaldavad. Selline võimalus leiab kasutamist näiteks ühiskondlikes ja ärihoonetes ventilatsioonisüsteemide täispööretega tööle rakendamisel juhtautomaatika poolt.

Vabasoojusallikateks on:

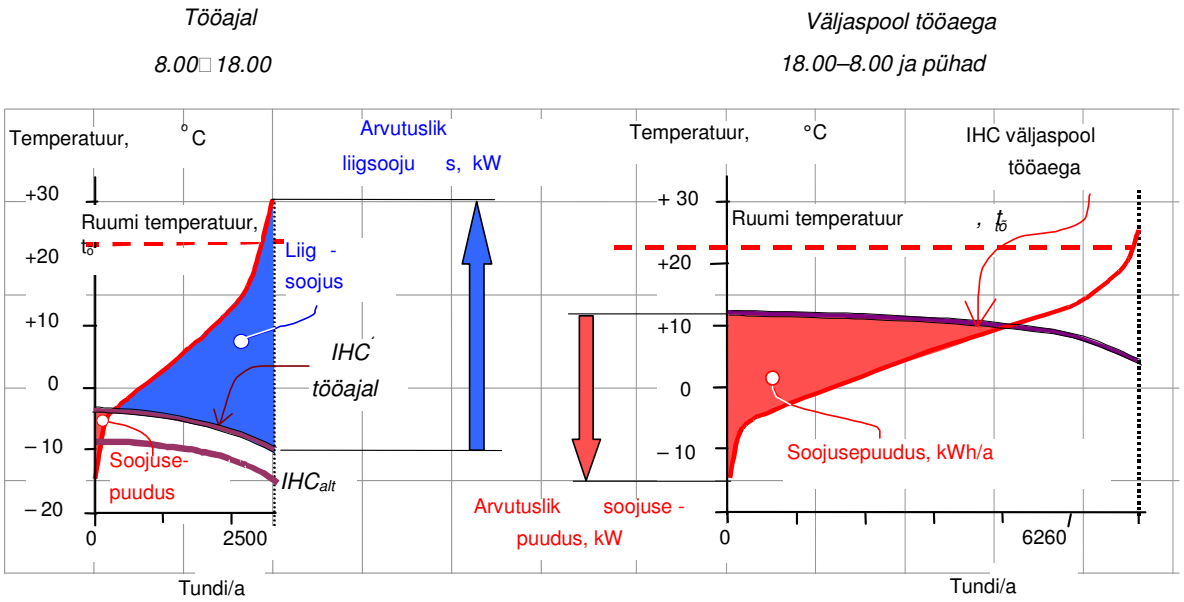
- läbi klaaspindade hoonesse tungiv päikesekiirgus;
- välisseinte ja katuse kaudu väljast sisse kanduv soojus;
- teistest ruumidest siseseinte, vahelagede ja põrandate kaudu leviv soojus;
- inimestest eralduv soojus;
- valgustusest eralduv soojus;
- seadmetelt eralduv soojus;
- erinevate protsesside ja toimingute käigus eralduv soojus (nt toiduvalmistamine, aurutamine, kuivatamine jmt);
- sooja välisõhu infiltratsioon suvel;
- ruumide ventileerimiseks kasutatav soe välisõhk.

Seejuures soojus satub ruumi kahel kujul – soojusena, mis tõstab õhutemperatuuri ja niiskusena, mida on vaja püsiva õhuniiskuse hoidmiseks ruumi õhust eemaldada. Esimest nimetatakse **ilmseks soojuseks** ja teist **varjatud soojuseks**, sest niiskus kondenseerub õhust välja kokkupuutel külma pinnaga. See nõuab aga jahutussüsteemilt täiendavat võimsust. Nii kulub n 1 kg niiskuse eraldamiseks õhust umbes 0,7 kWh energiat.
Ilmne soojus levib ruumi:

- Välispiirete kaudu;
- Infiltratsiooniõhuga;
- Ventilatsiooniks kasutatava välisõhuga;
- Klaaspindade kaudu päisekiirgusena;

- Soojuskiirgusena inimestelt, valgustusest, seadmetelt.
- Varjatud soojus (niiskus) satub ruumi välisõhuga (ventilatsioon + infiltratsioon);
- Inimeste hingeõhuga ja higistamisel;
- Tehnoloogilistest protsessidest (pesemine, toidu keetmine, aurutamine jmt).

Erinevalt küttesüsteemi soojuskoormuse arvutamisest ei ole jahutuskoormus kõikide vabasoojusallikate aritmeetiline summa. Selle määramisel arvestatakse asjaoluga, et mitte kogu ruumi tunginud soojus ei tõsta koheselt õhutemperatuuri, vaid suur osa päikese, valgustuse ja inimeste poolt kiiratavast soojusest salvestatakse välispiirete sisepindades, vahelagedes- ja seintes, mööblis jne. Tänu küllalt suurele soojusmahtuvusele salvestunud soojus ei tõsta nende temperatuuri koheselt, vaid tekib ajaline viivitus. Selle aja jooksul võib olla tekkinud olukord, kus mõne vabasoojusallika kadumisega (nt Päike) hakatakse seda salvestunud soojust ruumi edasi kiirgama. Seetõttu jahutuskoormuste leidmiseks koostatakse dünaamilised mudelid, mis arvestavad vabasoojusallikate intensiivsuse muutust ajas, nende samaaegsust jpm.



Joonis 3.2.7 Näide liigsoojuse osast ühiskondlike hoonete soojusbilansis

Sõltuvalt geograafilisets piirkonnast on välja kujunenud olukord, kus kaasaegsete hoonete jahutuskoormus on võrreldav küttekoormusega või on sellest isegi suurem. Skandinaavia piirkonna tüüpses büroos töötab jahutussüsteem kolm-neljandikku aastast alla poole oma nimivõimsusest ja paljudel juhtudel talvisel ajal ei tööta üldse. Seetõttu kujuneb jahutussüsteemi ühe töötunni maksumus väga kõrgeks, arvestades veel, et tehtud investeeringud on 3…5 korda suuremad küttesüsteemi väljaehitamiseks tehtavatest. Sellest tulenevalt on otstarbekas juba projekteerimise käigus maksimaalselt kasutada ennetavaid, jahutuskoormust vähendavaid meetmeid – suurte klaaspindade vältimine, optimaalne orienteeritus ilmakaarte suhtes, väliste päiksevarjete ja salužiide kasutamine akende ees jmt. Nii võimaldab päikesekiirguse levikut ruumi läbi klaaspindade takistavate meetmete (kardinad, markiisid, zalusiide) kasutamine alandada ruumi siseõhutemperatuuri ilma täiendavate meetmete kasutamiseta 5…6 °C võrra. Samuti tuleb erilist tähelepanu pöörata kasutatavate klaaside päikesekiirguse läbivustegurile, mis eriti suurte klaaspindade korral mõjutab oluliselt hoone jahutuskoormust. Tasakaalukõvara IHC asikoht graafikul sõltub vabasoojuse suurusest ja hoone piirdetarindist. Asend näitab palju tuleb aasta jooksusl hoonest soojust eemaldada ja palju tuleb soojust hoonesse lisada.

4.3.2 JAHUTUSSÜSTEEMID JA NENDE LIIGITUS

4.3.2.1 JAHUTUSSÜSTEEMIDE ÜLDINE LIIGITAMINE

- **külmaallika asukoha** järgi
  - individuaalsed – üks külmaallikas jahutab ühte või mitut ruumi
  - tsentraalsed – külmajaam jahutab tervet hoonet v hoonete kompleksi
- **külmaaine aurustusviisi** järgi
  - otsese aurustamisega süsteemid – külmaaine aurustub siseõhu temperatuuri toimel
  - kaudse aurustamisega e vahekülmakandjaga jahutussüsteemid – külmaaine aurustub siseõhu poolt soojendatud külmakandja toimel
- **jahutatava õhu liikumisviisi** järgi
  - passiivjahutus – õhu loomuliku ringlusega jahutus
  - aktiivjahutus – õhu sundringlusega jahutus
- **külmaenergia** jahutusseadmelt ruumi **ülekandmisviisi** järgi
  - kiirgusjahutus
  - konvektiivjahutus
- **külmakandja** järgi
  - õhkjahutus (ventilatsioonisüsteemide jahutatud sissepuhkeõhk)
  - järeljahutus (vesijahutus) – ruumi õhu jahutamiseks kasutatakse vahekülmakandjat (vett) kasutavaid ruumikeskseid jahutusseadmeid
- õhust **niiskuse eraldusastme** järgi
  - kuivjahutus
  - poolkuiv jahutus
  - märgjahutus
- **jahutusseadmete tüübi** järgi
  - puhurkonvektoritega (fan-coilidega) jahutus
  - jahutuspalkidega
  - paneelidega jahutus
  - põrandjahutus
  - lagijahutus

4.3.2.2 VAHEKÜLMAKANDJAGA JAHUTUSSÜSTEEMI ÜLESEHITUS

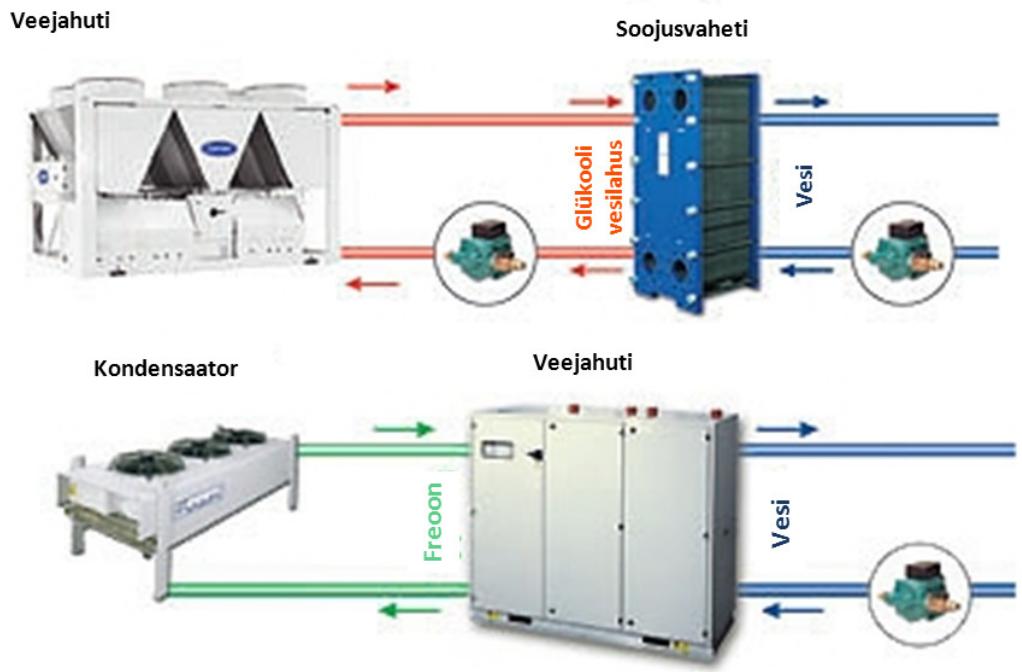
Jahutussüsteem koosneb analoogselt küttesüsteemile kolmest lülist:

- külma tootmine (kompressorseade, absorptsioonseade, sorptsioonseade, vabajahutus);
- külmakandja (vesi, vesi-glükooli segu) transportimine ja jaotamine (torustikud);
- külma tarbimine (jahutuspalgid, -paneelid, puhurkonvektorid jmt).

Külmakompressorite ülesandeks on võimalikult efektiivselt toota külma, jaotussüsteem (torustikud) peab tagama selle jõudmise minimaalsete kadudega ja vajalikus koguses iga külmatarbijani. Analoogselt küttesüsteemidele liigitatakse jahutussüsteemi torustikud:

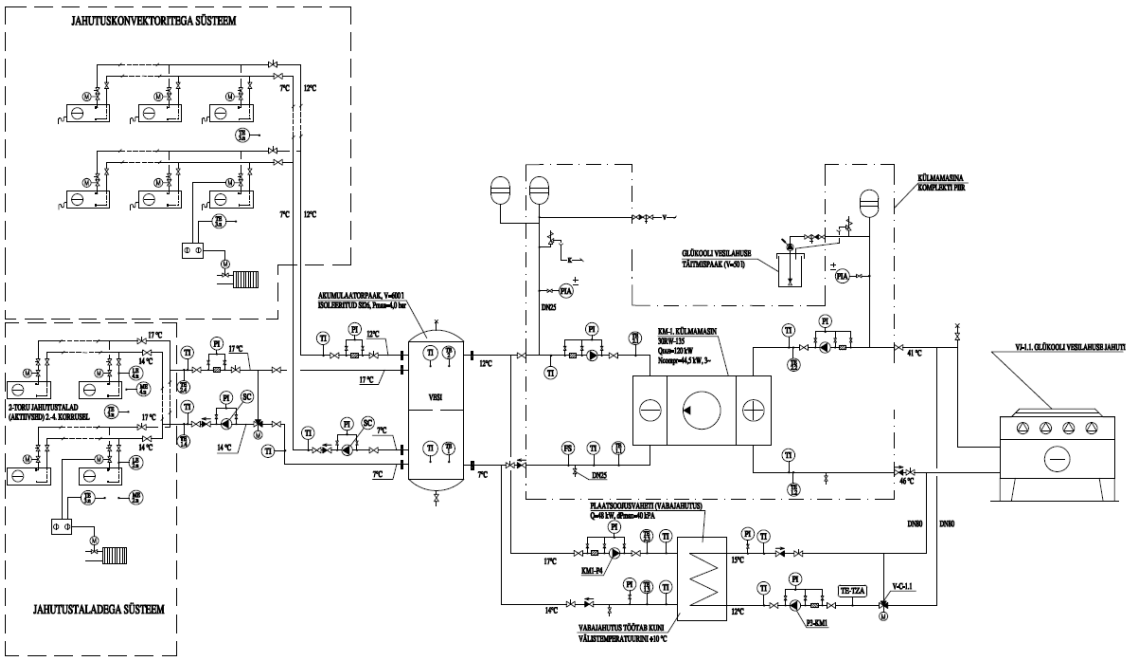
- magistraaltorud;
- jaotustorustik;

- ühendustorud.



Joonis 3.2.8 Külmajaamade põhimõttelised skeemid

Kompressorseadmete töö efektiivsust iseloomustatakse kasuteguriga **COP** (*coefficient of performance*). See näitab ühikust primaarenergiast (n elekter) toodetud külmaenergia kogust. Kompressorjahutitel jääb see suurus vahemikku 3…5, e 1 kulutatud kWh-st elektrienergiast toodetakse 3… 5 kWh külma.



Joonis 3.2.9 Jahutussüsteemi põhimõtteline skeem

Külmajaama töö efektiivsuse seisukohast on olulised:

- õige suurusega vahemahuti kasutamine kompressori ja tarbimissüsteemi vahel, mis võimaldab minimiseerida kompressori lülituste arvu mingil perioodil;
- aurusti ja kondensaatori soojusvahetuspindade puhtus;
- kondensaator ja veejahuti peavad paiknema võimalikult jahedas kohas, soovitavalt kaitstuna otsese päikesekiirguse eest;
- aurustumistemperatuuri tõstmine 1 °C võrra säästab 1…2% primaarenergiat (elektrit);
- kondenseerumistemperatuuri alandamine 1 °C võrra säästab 2…5 % elektrienergiat;
- vabajahutuse, so vahekülmakandja jahutamine kondensaatoris madalatel välisõhutemperatuuridel seisva külmakompressoriga, maksimaalne kasutamine;
- kompressorseadme heitsoojuse ärakasutamine;
- primaar- ja sekundaarpoole külmakandjate vooluhulkade omavaheline ühilduvus;
- hüdrauliline tasakaalustamine.

4.3.2.3 OTSEAURUSTUSEGA JAHUTUSSÜSTEEMIDE ISEÄRASUSED

Otseaurustusega jahutussüsteemid (nn split-süsteemid) koosnevad ruumi põrandale, seinale või lakke paigaldatavast siseosast (aurustist) ja väljaspoole hoonet välisseinale v katusele paigaldatavast välisosast (kondensaatorist). Reeglina on need süsteemid ette nähtud ühe ruumi jahutamiseks, harvem kahe või kolme ruumi samaaegseks jahutamiseks. Kasutatakse ka selliseid süsteeme, kus ühe välisosa taha ühendatakse kümmekond ja rohkem aurustit, kuid need on tehniliselt keerulised ja nõuavad väga täpset teostust.

Otseaurustusega jahutussüsteemide eelised:

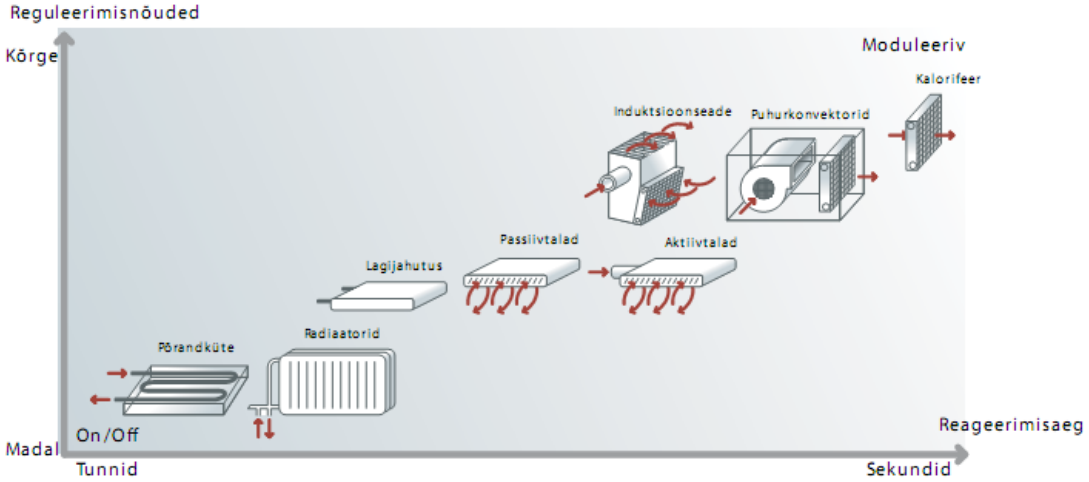
- Kompaktsed ja vajavad vähe ruumi;
- Reageerivad kiiresti õhutemperatuuri muutustele;
- Võimalus kiiresti ruume maha jahutada;
- Ökonoomsed;
- Töökindlad;
- Lihtne ekspluateerida ja hooldada;
- Vajavad kõige väiksemaid investeeringuid.

Otseaurustusega jahutussüsteemide puudused:

- Ruumides olevates seadmetes ja torustikes ringleb külmaaine – freoon, mis võib suurtes kogustes ruumi õhku sattudes kahjustada inimeste tervist;
- Freoon on keskkonnakahjulik soodustades maad ümbritseva osoonikihi hävimist;
- Süsteemi lekke korral vajalik spetsiaalsete vahendite ja väljaõppega spetsialistide olemasolu;
- Jahutatavates ruumides vajalik torustik jahutamisel tekkiva kondensvee ärajuhtimiseks;
- Puudub õhutemperatuuri sujuva reguleerimise võimalus, mistõttu inimeste olekutsooni võib sattuda madala temperatuuriga õhk.

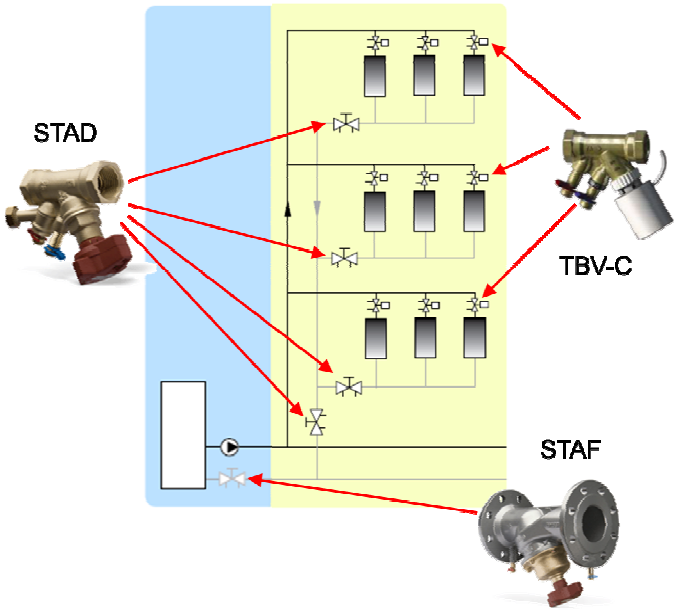
4.3.3 JAHUTUSSÜSTEEMI LÕPPSEADMED JA NENDE TÖÖ REGULEERIMINE

Jahutussüsteemi lõppseadmete ülesandeks on siseõhutemperatuuri lubatud ülemise piiri tagamiseks vajaliku külma ülekandmine jahutussüsteemis ringlevalt külmakandjalt ruumi õhule. See ülekanne toimub reeglina konvektiivsel teel (fan-coilid, jahutuspalgid), harvem kiirguse teel (paneelid, lagijahutus, põrandjahutus jmt). Olenevalt süsteemis kasutatava külmakandja (vesi, glükooli vesilahus) temperatuuridest räägitakse märgjahutusest, poolkuivast jahutusest ja kuivjahutusest. Kahel esimesel juhul toimub ka jahutatava õhu kuivatamine, mille käigus eraldub kondensaati, mis vajab kanaliseerimist. Madalama külmakandja temperatuuri kasutamine jahutussüsteemis võimaldab kasutada väiksemaid lõppseadmeid. Nende väljundvõimsuse reguleerimine on täpsem, samas peavad süsteemid olema hüdrauliliselt väga hästi tasakaalustatud. Jahutussüsteemi õige tasakaalustamine on eriti oluline, arvestades asjaolu, et pumpamiskulud külmakandja ringlemisele moodustavad 15-20% jahutussüsteemi aastasest energiatarbest. Sõltuvalt vajalikust reguleerimistäpsusest kasutatakse jahutussüsteemides 2-punkt-, 3-punkt- või moduleerivat juhtimist.

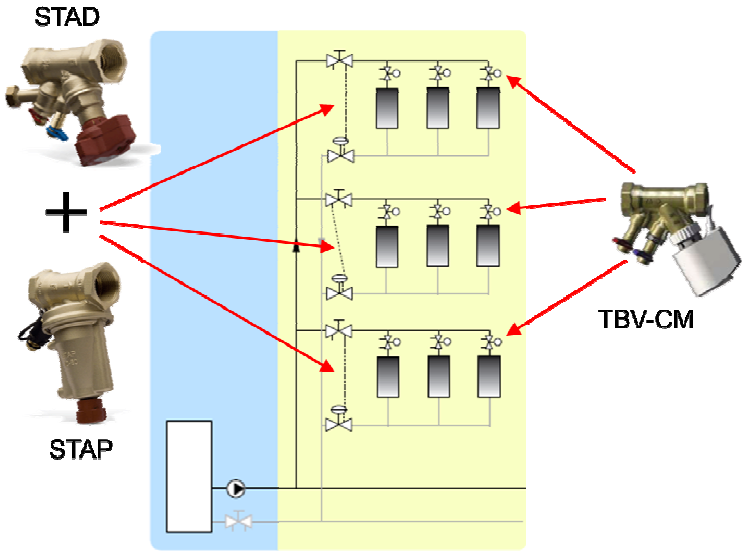


Joonis 3.2.10 Sobiva reguleerimisviisi valik olenevalt jahutussüsteemi iseloomust

Jahutuse lõppseadmete tasakaalustamiseks ja reguleerimiseks võib kasutada ühitatud tasakaalustus-reguleerventiile (joonised 3.2.11 ja 3.2.12), mis annab võimaluse ühest kohast vooluhulka piirata, reguleerida, sulgeda ja mõõta. Jahutatavates ruumides, kus on ka küttekehad, tuleb kasutada lahendust, mis **väldiks kütte- ja jahutusseadmete üheaegse töö.** Selleks varustatakse tavaliselt ka termostaatventiilid analoogsete termoelektriliste mootoritega nagu on jahutusseadmete reguleerventiilidel. Edasi on juba juhtautomaatika see, mis tagab, et ruumi kütmise korral sulgub jahutusventiil ja jahutamisel sulgub radiaatorventiil.



Joonis 3.2.11 Jahutuse lõppseadmete on-off reguleerimine ja süsteemi staatiline tasakaalustamine



Joonis 3.2.12 Jahutuse lõppseadmete moduleeriv reguleerimine ja süsteemi dünaamiline tasakaalustamine

4.3.4 JAHUTUSSÜSTEEMIDE PROBLEEMIDETA JA EFEKTIIVNE TÖÖ

Jahutussüsteemide probleemideta ja efektiivse töö tagavad:

- Optimaalselt valitud jahutuse lõppseadmed ja torustikud;
- Jahutusseadmete paiknemine kohtades, kus on kõige intensiivsem vabasoojuse tekkimine ja puuduvad soojusülekannet takistavad tegurid;
- Ruumide maksimaalne jahutamine vabajahutuse ja välisõhuga;
- Arvutuslike vooluhulkade tagamine hüdraulilise tasakaalustamisega kõikjal jahutussüsteemis;
- Õige staatilise rõhu hoidmine süsteemis;

- Külmakandjas erinevates vormides esineva õhu pidev eraldamine ja eemaldamine jahutussüsteemist;
- Vajaliku temperatuuriga külmakandja valmistamine segamissõlmedes olenevalt konkreetse jahutussüsteemi iseärasustest;
- Torustike ja seadmete isoleerimine kondensaadi moodustumise vastu.

4.3.5 JAHUTUSSÜSTEEMIDE KONTROLL JA KATSETAMINE

Jahutussüsteemide vastuvõtmiseks tuleb:

- Veenduda tegeliku olukorra vastavuses projekteeritule;
- Jälgida, et kasutatud seadmed ja materjalid oma omadustelt ja kvaliteedilt vastaksid projekteeritule või oleksid sellest paremad; tootjafirma nimi ei taga seda automaatselt, vaid tuleb kontrollida ning võrrelda seadmete ja materjalide tehnilisi näitajaid;
- Teostada visuaalne ülevaatus jälgides seadmete nõuetekohast paigaldust, torustike kaldeid, tühjendus- ja õhutusseadmete olemasolu, isolatsiooni terviklikkust jmt;
- Süsteem survestada rõhuga, mis ületab maksimaalse töörõhu mop vähemalt 1,5 korda. Seejuures rõhulang 2 tunni jooksul ei tohi ületada 0,02 mpa;
- Süsteem montaažijärgselt läbi pesta;
- Süsteem korralikult täita ja õhutada;
- Teostada hüdrauliline tasakaalustamine. Peale tasakaalustamist koostatakse tasakaalustusraport, kus märgitakse ära nii arvutuslikud kui tegelikult mõõdetud vooluhulgad;
- Veenduda reguleerseadmete ja pumpade nõuetekohases toimimises;
- Veenduda lubatud müratasemе tagamises nii ruumides, kus kasutatakse ventilaatoritega jahutusseadmeid (fan-coilid) kui ka aktiivpalke;
- Kontrollida, et külm õhk ei ületaks olekutsoonis lubatud liikumiskiirust.