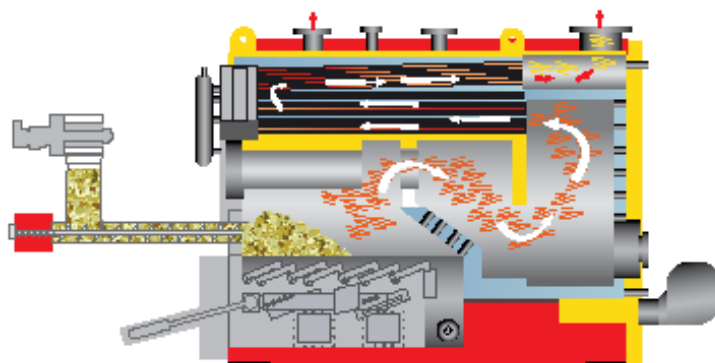


## Soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea määramine (hindamine)

Ekspert hinnang  
SusDev Consulting OÜ



© EV MKM Konkurentsiamet

Konkurentsiamet  
Auna 6  
10317 Tallinn  
Tel. 667 2400  
E-mail: [info@konkurentsiamet.ee](mailto:info@konkurentsiamet.ee)

SusDev Consulting OÜ  
Suurkivi tee 18  
Türisalu küla, Harku vald  
Harjumaa 76701  
Tel. 51 42 941; 652 6763; 50 37427  
E-mail: [metsylo@solo.delfi.ee](mailto:metsylo@solo.delfi.ee)

## *Soojuse tootmise, jaotamise ja müüügiga seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea määramine (hindamine)*

### Sisukord

1	Hinnang soojuse tootmisega seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea osas .....	8
1.1	Katlad soojuse tootmiseks .....	8
1.1.1	Leek-suitsutoru katlad .....	8
1.1.2	Veetoru katlad .....	9
1.2	Millest sõltub katelde eluiga kõige rohkem.....	11
1.2.1	Garantiidest ja tehnilisest elueast .....	11
1.2.2	Katlametalli termilisest väsimisest.....	13
1.3	Erinevate tootjate poolt ehitatud ja erinevaid kütuseid kasutavad katlad (k.a. kombikatlad).....	14
1.3.1	Kasutusel olevad katlad alates suurimaist .....	15
1.3.2	Katelde üleviimine biokütusele .....	16
1.3.3	Uute biokütusel katelde installeerimine .....	17
1.3.4	Koostootmisjaamade katlad .....	18
1.4	Tootmiseseadme põhi- või tipukoormuse katmisest tulenev võimalik tehnilise eluea erinemine ja selle põhjused (näiteks gaasil või vedelkütusel töötava katla käivitamine vaid tipukoormuse katmiseks).....	19
1.5	Erinevaid kütuseid kasutavate katlamajade komponendid, sh need mille tehniline eluiga ei ole sarnane põhiseadmega (näiteks soojusvahetid, pumbad, ökonomaiserid, põletid, elektrisüsteemid, torustikud, restkolde katla restid jne).....	20
1.5.1	Soojusvahetid .....	20
1.5.2	Pumbad.....	21
1.5.3	Suitsuimeja .....	23
1.5.4	Suitsugaaside pesur (kondensaator) .....	23
1.5.5	Ökonomaiserid .....	25
1.5.6	Põletid.....	26
1.5.7	Elektrisüsteemid .....	28
1.5.8	Suitsugaasi analüsaatorid .....	28
1.5.9	Torustikud .....	28
1.5.10	Kolde restielemendid.....	28
1.5.11	Eelkolle puidu ja turba põletamiseks .....	30
1.5.12	Kalorifeer .....	30
1.5.13	Veepehmendusseadmed .....	30
1.5.14	Generaator .....	31

1.5.15	Lekkedetektorid.....	31
1.5.16	Kaugjuhtimissüsteem ja kaugvalve.....	31
1.5.17	Valveseadmed .....	32
1.5.18	Sagedusmuundur .....	32
1.6	Tootmishoone, korstnad, kütuselaod, laoplatid, mahutid, piirdeaiad jne .....	33
1.7	Soojuse tootmisega seotud masinad ja seadmed (sh kaugjuhtimissüsteemid, traktorid, generaatorid jne).....	34
1.8	Asjaolude kirjeldus, mis võimaldab kapitaalremondi korral ja milliseks perioodiks (aastat/töötunnid) vastavate seadmete, masinate, hoonete ja rajatiste kasulikku (tehnilist) eluiga tõsta.....	34
1.8.1	Biokütusele üleviidud katlad .....	34
1.8.2	Katelde abiseadmed.....	35
1.9	Kasulik (tehniline) eluiga aastates (vajadusel töötunnid).....	36
2	Hinnang soojuse jaotamisega seotud põhivarade kasuliku eluea osas .....	38
2.1	Betoonkünades isoleeritud torustiku ja eelisoleeritud torustiku kasulik eluiga.....	39
2.1.1	Betoonkünades isoleeritud torustik .....	39
2.1.2	Eelisoleeritud torustik .....	40
2.2	Erinevate tootjate poolt valmistatud erinevatest materjalidest torude eluiga .....	43
2.3	Pumbajaamade, boilerjaamade ja muude põhivaraks klassifitseerivate abiseadmete eluiga	46
2.4	Asjaolude kirjeldus, mis võimaldab kapitaalremondi korral ja milliseks perioodiks (aastat/töötunnid) vastavate torustike, rajatiste või seadmete kasulikku (tehnilist) eluiga tõsta	46
2.5	Kasulik (tehniline) eluiga aastates (vajadusel töötunnid);.....	47
3	Hinnang soojuse müügiga seotud põhivarade eluea osas.....	48
3.1	Soojussõlmed.....	48
3.2	Soojusmõõtjad, kauglugemissüsteemid, arvutid .....	50
3.2.1	Soojusmõõtjad.....	50
3.2.2	Kauglugemissüsteemid.....	51
3.2.3	Arvutid .....	52
3.3	Kasulik (tehniline) eluiga aastates (vajadusel töötunnid).....	52
4	Kokkuvõte .....	54
5	Kasutatud kirjandus.....	56

## Sissejuhatus

Tehniline kasulik eluiga on aeg, mille kestel seadet saab normaalselt käitada, parandades mõningad jooksvad pisivead. See tähendab aega kuni momendini, kus seade nõuab väga kapitalimahukaid asendusi, mille puhul oleks õigem hankida uus seade. Reeglina pole siin kindlat aastat, nagu ka autode ja kõigi tehniliste seadmete puhul, oluline on valida konkreetsele seadmele optimaalne ajavahemik. Kasuliku eluea hinnang on vajalik majandusarvutusteks, keskkonnamõtjude hindamiseks, samuti investoreile investeerimisotsuste tegemiseks.

UNFCCC (ÜRO Kliimamuutuste paneel) määratleb [3] energiatootmisega seotud seadmestiku eluiga järgmiselt:

**Tehniline eluiga** on koguaeg, mille kestel on seadmestik tehniliselt kujundatud opereerima alates seadme esimesest vastuvõtmisest-üleandmisest (commissioning) tellijale.

**Operatiivaeg** ehk käiduaeg on koguaeg, mille kestel seadmestikku on käitatud alates esimesest üleandmisest-vastuvõtmisest. Operatiivaega arvestatakse aastates või töötundides.

**Järelejäänud eluiga** on aeg, mille jooksul seade saab jätkuvalt töötada seni, kuni ta vahetatakse välja või kantakse maha tehnilistel põhjustel, selliste nagu vanus, ohutusnõuded või langenud ning ebakindel tootlikkus. Järelejäänud eluiga väljendatakse aastates või töötundides.

**Järelejäänud eluiga = tehniline eluiga – operatiivaeg**

Seadmestiku eluea määramisel soovitatakse kasutada:

- Tootja informatsiooni seadme tehnilise eluea kohta;
- Eksperthinnanguid;
- Üldistatud kogemuslikke viiteväärtusi.

Tavaliselt energiaseadme eluea väärtust ei määrata üksiku kindla aastaga, vaid ajavahemikuga ülemise ja alumise piirväärtuse vahel, - sel juhul tuleb keskkonnaheitmete puhul lähtuda pigem konservatiivsemast hinnangust, tasuvusarvutuste puhul maksimaalsest piirväärtusest.

Väiksemaid lisaseadmeid nagu väiksemad pumbad, mootorid, ventiilid, siibrid jms, milliseid reeglina vahetatakse välja tavaliste hooldustööde käigus, ei arvestata põhiseadme (katla, turbiini) tehnilise eluea määramisel. Küll aga võib hinnata nende võimalikku eluiga eraldi.

### ***Seadme tootja informatsiooni kasutamine***

Seda võimalust saab kasutada, kui:

- Tootja informatsioon on kättesaadav;
- Kui seadet on kasutatud ja hooldatud vastavalt tootja instruksioonidele;
- Kui toode ei oma ühtki disainiviga või defekti ega pole toimunud avarisiid, mis põhjustaks seadme töötamist mitte tootja poolt ettenähtud tasemel.
- Kui seadet pole eelnevalt (või perioodiliselt) plaanitud vahetada, mis nõuab seadme väljavahetamist enne kui tema tehniline eluiga lõpeb;

- Kui seadme garantiiremont oli teostatud tootja poolt, võib tootja revideerida oma hinnangut seadme tehnilisele elueale.

**Märkus:** Ärihuvides ei soovi tootjad oma seadmete tehnilist eluiga välja pakkuda. Viidatakse parimal juhul, et seade töötab palju aastaid ja et kõik sõltub sellest, kuidas seadet käitatakse ja hooldatakse. Sama tendents kehtib ka muudele seadmetele, nagu autod, traktorid, väiksemad katlad, ka kallimale ning keerukamale kodutehnikale. Ainus, mida välja pakutakse, on tootja garantiiaeg.

### **Ekspert hinnangu kasutamine**

Seda võimalust kasutatakse enamasti järelejäänud eluea hindamiseks. Selle puhul annab hinnangu sõltumatu kogenuud ekspert, analüüsides:

- Informatsiooni seadme senise käidu kohta, teostatud paranduste, täienduste, puuduste, avariide, tootlikkuse tõusu/languse, lisaseadmete, torustike vahetuste jms. kohta;
- Jooksvat käidu korraldust ja hoolduse teostust;
- Dokumenteeritud infot vastava sektori/tööstuse praktikast võimalike paranduste-täienduste kohta;
- Läbiviidud metallide vastupidavusuuringuid, nagu magneetiliste osakeste uuring, ultraheli-, metalli struktuuri uuringud jms.

Kogutud andmed, samuti ülevaate uuringutel kasutatud meetoditest koondab ekspert aruandesse ja esitab oma järeldused järelejäänud tehnilise eluea kohta. Taolisi spetsiaaluuringuid teostatakse tavaliselt elektrijaamade võimsate põhiseadmete kohta. Praktiliselt kõigi Eesti Energia elektrijaamade katelde ja turbiinide kohta on selliseid ekspert hinnanguid koostatud.

### **Üldistatud kogemuslike viiteväärtuste kasutamine**

Seda võimalust kasutatakse siis kui:

- Seadet on kasutatud ja hooldatud vastavalt tootja instruktsioonidele;
- Seadet pole eelnevalt (või perioodiliselt) plaanitud vahetada, mis nõuab seadme väljavahetamist enne tehnilise eluea lõppu;
- Kui seade ei oma ühtki disainiviga või defekti ega pole toimunud avariisid, mis põhjustaks seadme töötamist mitte tootja poolt ettenähtud tasemel.

Kättesaadavad [3] viiteväärtused puudutavad valdavalt elektrienergeetika (elektritootmise) seadmeid, millest mõned on eeskujuna toodud järgnevas tabelis.

*Mõningate energiaseadmete tehnilise eluea viiteväärtused*

Seade	Tehnilise eluea viiteväärtus
Katlad	25 aastat
Auruturbiinid	25 aastat
Gaasiturbiinid, kuni 50 MWe	150 000 tundi
Elektrigeneraatorid, õhujahutusega	25 aastat
Elektrigeneraatorid, vesinik- või vesijahutusega	30 aastat
Tuuleturbiinid, maismaal	25 aastat
Tuuleturbiinid, meres	20 aastat
Diiseli/õli/gaas kütusega generaatorseadmed	50 000-60 000 tundi
Transformaatorid	30 aastat
Soojendid, jahutid, pumbad, jm. abiseadmed	15 aastat

Tuleb rõhutada, et ülaltoodud määratluses tehniline eluiga on seadme operatiivne eluiga ehk tööaeg. Kui seadet kasutatakse vaid keskmiselt pool tööaega (4350 tundi) aastas, siis koguneb 10-aasta vanusele seadmele tehnilist eluiga vaid 5 aastat. Lisaks kateltele on see tüüpiline soojusvõrgu tsirkulatsioonpumpadele. Reeglina on neid pumpi 2 või enam nii talvisteks kütteperioodi koormusteks kui ka suvisteks kuni 10 korda väiksemateks koormusteks. Nii töötavad üks või kaks talvist pumpa ca 7 kuud ja suvised 5 kuud aastas.

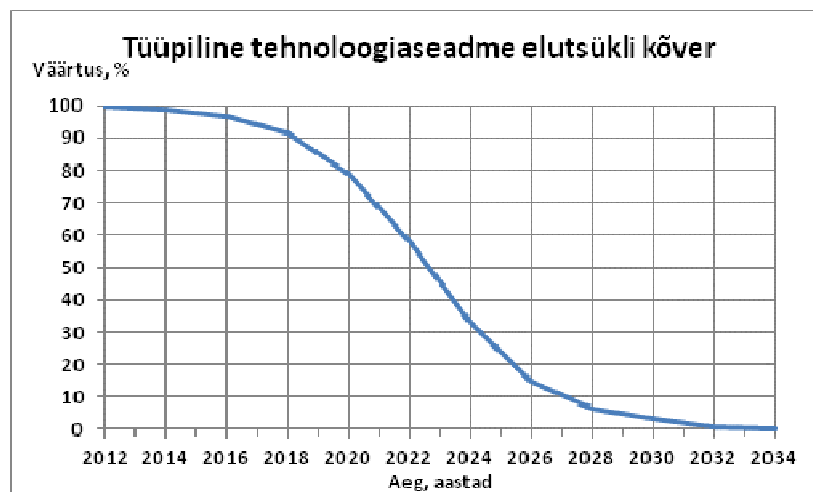
Tegelikult vananeb seade ka siis, kui seda ei kasutata. See kehtib eriti katelde kohta. Katelde vääril kasutamisel võib torustik korrodeeruda seisuajal rohkemgi kui pidevalt töös olles. Ka Eesti kaugküttes on selle kohta näiteid.

Enne uue energiaseadme hankimist on mõistlik koostada eelnevalt tasuvusarvutus, selgitamaks, kas ja kuivõrd on kasulik uut seadet hankida. Tasuvusarvutustes kasutatakse tavaliselt 2 põhinäitajat:

- Elutsükli kulud (ETK) on tarbija kulutuste nüüdisväärtus seadme tehnilise eluea jooksul, sisaldades kõiki kulutusi nii seadme ostuks, paigalduseks kui ka selle käitamiseks (sh. kulutused energiale ja/või kütusele). Tulevased käidukulud diskonteeritakse seejuures ostupäevale ja summeeritakse kogu seadme tehniliseks eluperioodiks.
- Tasuvusaeg (TA) näitab ajavahemikku, mille jooksul kõrgema kasuteguriga seadme kallim hind teenitakse tagasi madalamate käidukulude kaudu.

Neist näitajaist selgub, milline tähtsus on seadme tehnilise eluperioodi õigel hindamisel. Seadme elutsükkel või tehniline eluaeg on aeg, mille jooksul kolle (katel) või tehniline seade füüsiliselt või moraalselt vananeb ja lõpetab tegevuse.

Iga tehnoloogia, samuti tehniline seade vananeb ja kaotab pidevalt oma väärtust kasutusprotsessi jooksul. See toimub üldreeglina joonisel 1 toodud kõvera [1] kohaselt.



Joonis 1 Elutsükli näidiskõver tehnologiaseadmeile

Näidiskõver iseloomustab seadme väärtuse langust 22 aasta jooksul, juhul kui tema kasutamine, hooldus ja korrashoid toimuvad vastavalt teenindusinstruktsioonidele. Loomulikult on see aeg erinevatel seadmetel erinev. Väärtuse langus ei tähenda tingimata, et seade kaotab osa oma võimekusest (võimsusest), kui tema väärtus hakkab lähenema nullile. Küll aga võib langeda efektiivsus ning kasvab vajadus suuremate või väiksemate remonttööde

tegemiseks, et seadet jätkuvalt töökorras hoida. Juhul kui vajalike remonttööde maksumus osutub liiga suureks, tuleb kaaluda seadme väljavahetuse otstarbekust.

Iseloomulik on, et seadme väärtuse langus on esimesel kasutuskolmandikul minimaalne, teisel kolmandikul suhteliselt kiire ning lõpuosas jälle suhteliselt aeglane. See erineb mõnevõrra kulumi arvestusest, kuigi perioodi lõpuks peaks elutsükli kõver kulumi arvestusega kokku langema.

Lisaks puht tehnilisele seadme väärtuse langusele võib esineda väärtuse langust ka teistel põhjustel, eelkõige moraalse vananemise või mittevajalikkuse tõttu. Soojustehnikas on siin tüüpiliseks näiteks kallimatel fossiilkütustel töötavate katelde reservi jäämine või mahakandmine pärast seda, kui evitatakse biokütustel töötav baaskoormuse katel (katlad) või koostootmisjaam.

Maailma praktikas on paljudel tegevusaladel seadme tegeliku elutsükli kõvera hindamine oluliselt tähtis, põhjendamaks investoreile investeerimist uuteks tehnoloogiateks. Enamik vastavaid uuringuid on kaitstud patentidega. Üks suurimaid möödalaskmisi selles vallas oli üle ookeani minevate vask-sidekaablite fiasko seoses kiudoptiliste sidekaablite evitamisega. Nii osutus paigaldatud vaskaablite tehniline eluiga eeldatud 65 aasta asemel vaid 11 aastaks!

Käesolevas töös on kasutatud ESA andmeid Eesti katlamajadest ja kateldest, uuringuid senitehtud katelde ja katlamajade renoveerimistest, sh. suurte kuumaveekatelde ning elektrijaamade katelde osas, biokütusele üleviimise projektidest, uute soojusvõimsuste evitamisest ning kättesaadavaist praktilistest kogemustest üle maailma.

Töös esineb paratamatult teatud tinglikkust, sest raske on ühe mõõdu (hinnangu) alla viia erinevat tüüpi, erineva võimsusega, tööparameetritega ja otstarbega seadmeid. Seetõttu on antud lühike ülevaade Eestis kasutusel olevatest vanadest ja uutest põhiseadmetest.

# 1 Hinnang soojuse tootmisega seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea osas

Kuna kõik energiaallikad – fossiilkütused, biomass, tuuma- ja päikeseenergia ning elekter sobivad soojuse ja/või tehnoloogilise auru tootmiseks, on siinses ülevaates piiratud vaid fossiilseid ja biokütuseid põletavate kateldegaga, millised on peaaegu 100% selt kasutusel ka Eesti kaugküttesüsteemides soojuse tootmisel.

## 1.1 Katlad soojuse tootmiseks

Soojuse tootmiseks kasutatavaid katlaid võib jagada kahte suuremasse kategooriasse: veetoru ja (leek-) suitsutoru katlad, millest mõlemal tüübil esinevad omad probleemid katla tehnilise eluea seisukohast. Veetoru kateldes toimub torudes voolava vee kuumutamine põlemisgaaside poolt, millised voolavad väljaspool torusid, suitsutoru kateldes liiguvad põlemisgaasid läbi leektoru (koldeosa) ja suitsutorustiku ja kuumutatav vesi ümbritseb neid torusid. Praktiliselt kõik võimsamad (üle 15-25MW) katlad on veetoru katlad, sest suur võimsus eeldab suurt kolde mahtu ehk tuleruumi, mida on võimatu veesärki mahutada. Seda katlatüüpi kasutatakse laialt suur-energeetikas (soojuselektrijaamades) auru genereerimiseks. Leek- suitsutoru katlaid kasutati algul laialdaselt laevadel (nimetataksegi mõnes riigis laevakatlaks), nüüdseks on nad kasutusel soojuse tootmiseks, sh. kaugküttes kas iseseisvate kateldena (gaasi või õlipõletitega) või soojusvahetina tahke- ja biokütuse katelseadmeis.

Kuna mõlemat tüüpi katlad on Eesti soojusvarustuses kasutusel, iseloomustame neid, nende eeliseid ja puudusi veidi lähemalt.

### 1.1.1 Leek-suitsutoru katlad

Neis kateldes on nii leektoru (koldeosa) kui ka põlemisgaaside torustik veesärgis ja suitsugaasid liiguvad torude sees. Soojusvahetus neis 3-käigulistes kateldes toimub vee ja põlemisproduktide vahel. Koldeosa (leektoru) koos põletiga võib asuda katlas aga võib asuda ka väljaspool katelt. Viimast moodust kasutatakse biokütuste põletamisel. Sel juhul kujutab katel endast soojusvahetit, kus leektorus toimub puidu gaasilise osa (lendosade) järelpõlemine ning suitsutorude kaudu kantakse põlemisgaaside soojus veele üle. Nende katelde efektiivsus on ligikaudu 70-75% ning katlaid kasutatakse veekatlaina või madalarõhulise auru tootmiseks (Joonis 1.1). Seda tüüpi aurukatlad olid eriti levinud aurulaevadel (sh. vasktorudega) ja veduritel.



Joonis 1.1 Tüüpiline leek-suitsutoru katel, firma Fulton (USA)



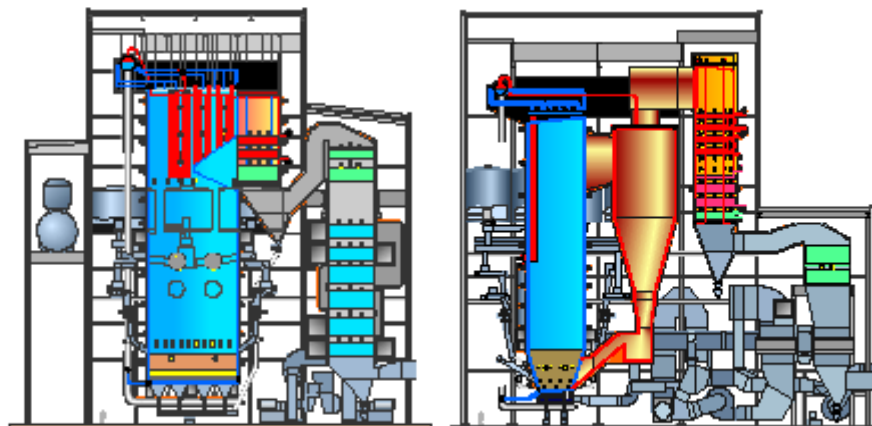
Eestis olid tuntuimaks leek- suitsutoru katlaiks kodumaised „Kiviõli“ katlad, maksimaalse võimsusega „Kiviõli-80“ puhul õliküttel ca 1MW. Nende katelde eluiga ei ületanud **10-15** aastat, tavaliselt läksid nad rivist välja oskamatu või hooletu eksploatatsiooni tulemusena. Katelde eeliseks oli lihtne ehitus, mistõttu kohalikud spetsialistid, näiteks AS Fortum Termest (nüüd Adven Eesti AS) töökojas, võisid sisuliselt välja vahetada kogu katla: leektoru, torulauad, torustiku ja väliskesta ning katel sai pärast sellist kapitaalremonti uue elu. Algselt põlevkivile või kivisöele ette nähtud katla puuduseks olid suured termilised pinged torulaudade otstes, kohalikud ülekuumenemised tänu katlakivile torustikus, sagedased lekked, madal automatiseeritus ja efektiivsus, kõrged hooldekulud (teenindava personali vajadus), suhteliselt piiratud võimsus.

Nüüdseks on enamik neist kateldest maha kantud ning nende asemel on paljudes kohtades kasutusel samatüübilised, kuid efektiivsemad ning võimsamad välismaised katlad (Witermo, Laka, Viesmann, Danstoker jt.). Enamik neist töötab gaasi- või vedelkütusel automaatselt, mehitamata katlamajades. Ainuüksi Tallinnas on selliseid kaugjuhitavaid automaatkatlamaaju üle 40.

### 1.1.2 Veetoru katlad

Seda tüüpi katelde paljudes alamliikides toimub soojusvahetus kamberkoldes põlemisgaaside ja kolde seinu ning lage katvate vee- või veeauru torupaneelide vahel soojuskiirguse, konvektsiooni ja soojusülekanne abil. Auru- ja veetorude väike läbimõõt, mis ühtlasi vähendab termilisi pingeid torustikes, on nende katelde eeliseks leek- suitsutoru katelde ees. Neid katlaid kasutatakse laialt elektrijaamades ning tööstustes, kus vajatakse kõrgsurve auru, kuid on ka kasutusel võimsamate ülekuumendatud vee katlaina kaugküttes. Nende katelde kasutegur on vahemikus 85-95%.

Veetoru katel koosneb põlemiskambrist (koldest), mille küljed on kaetud torustikuga (nn. kolde ekraanid), vee ja auru laskuv/tõusu torudest, trumlist, auru ülekuumenditest, õhu eelsoojendist, toitevee ökonomaiserist ja lendtuha püüdeseadmeist (tahkel kütusel) ning abiseadmeist nagu kütuse põletid, õhu ventilaatorid, suitsuimejad, pumbad jms. Kaasaegsetes kateldes kasutatakse kolde ekraanides vertikaalseid ribitatud torusid, sest ekraanitorud on kõrge termilise koormuse, rõhu ja temperatuuri pingete all ning torustikud tuleb kujundada nende talumiseks. Ribitatud torud aitavad tagada ühtlasemat termilist koormust torudele, samas suurendades soojusülekanne koldes (võimaldades väiksema mahuga kollet). Kolde ekraanide all ja ülaosas on kollektorid, kuhu ekraani paketid on kinnitatud. Alumistesse kollektoritesse antakse laskuvtorudega toitevesi ja ülemistest kollektoritest juhitakse tekkinud aur aurutorude abil trumlisse.



Joonis 1.2 Tahkel kütusel töötavate katelde skeem: keevkihtkoldega veetorukatel (vasakul) ja tsirkuleeriva keevkihtkoldega katel (paremal)

Joonisel 1.2 on toodud kaasaegsete kõrgsurvega veetoru aurukatelde skeemid. Põhimõtteliselt sarnaste keevkihtkoldega kateldegaga on tegu Väo, Tartu ja Pärnu koostootmisjaamades, tsirkuleeriva keevkihtkoldega katlaiga ka Narva renoveeritud ja Auvere uutel energiablokkidel. Eeltoodud katelde tehniline eluiga on **22-25a**.

Vanemat tüüpi veetoru katelde üks tuntuim puudus oli, et vaatamata katla seinte soojusisolatsioonile polnud seinad õhutihedad, mistõttu katlad (hõrendusega koldes) töötasid liigselt suure väärdõhuga või lasksid suitsugaase läbi seinte katlaruumi (surve all töötava kolde puhul). Mõlemad ilmingud olid tuntud Eesti Energia vanade katelde puhul, samuti suurte (58 ja 116MW) kaugkütte veekatelde PTVM ja KVGGM puhul. Madalsurvealiste veetoru katelde keskmine tehniline eluiga oli vahemikus 100-120 tuhat tundi (15a). Sellise katla edasisel kasutamisel langeb efektiivsus ja käidukulud suurenevad. Katla eluiga saab pikendada katla põhjaliku moderniseerimise teel, ühtlasi viies nad vastavusse karmistunud keskkonna nõuetega.

Nüüdseks on veetoru katelde arendus jõudnud membraanitud gaasitihedate seintega kateldeni ribitatud ekraanitorudega, suurendamaks soojusvahetus pinda. Membraanseinad on muutnud katlad tugevamaks ning suurendanud tehnilist eluiga. Teisteks eelisteks on madalam elektrienergia omatarve (hõrendus ja õhukulu on kontrolli all), mis koos moodsa arvutustehnikal põhineva põlemisprotsessi juhtimissüsteemiga annab kõrgema kasutegurit.

Katla kujunduse põhiparameetrid on kuuma vee või auru massikulu, rõhk ja temperatuur. Katlasse siseneva kütuse kulu sõltub selle energiasisaldusest ehk kütteväärtusest ja seadme kasutegurist. Uued katlad kivisöel, kütteõlil, looduslikul gaasil ja biomassil võivad saavutada kasuteguriks 85-95%.

Kasutegur sõltub valdavalt katlast lahkuvate suitsugaaside temperatuurist ning nende jääkhapniku sisaldusest, mis iseloomustab põlemisprotsessi efektiivsust. Katla kasutegurit saab suurendada põlemisprotsessi täiustamise ning soojuskadude vähendamise abil, kasutades suitsugaaside jahutamiseks õhu eelsoojendeid, vee ökonomaisereid ning, kus võimalik, ka kondensaatoreid (kondensaator ökonomaisereid ehk pesureid). Kõik suureenergeetikas kasutatavad katlad on varustatud nende seadmetega (va. pesurid, mis annavad suurimat efekti niiskete kütuste puhul ja sõltuvad madalatemperatuurilise soojuse kasutamise võimalusest).

Katlaehituse tehniline täiustamine keskendub tänapäeval kõrge efektiivsuse ning madalate käidukulude saavutamisele, kuna kõik mis puudutab katla metallide koostist ja nende valikut vastavalt tööparameetritele, on teada-tuntud juba kümneid aastat. Maailma terasfirmade vahel käib äge konkurents ning tellimused metalliteadlastele paremate ja vastupidavamate sulamite väljatöötamiseks, milles tellijaiks pole vaid soojuselektrijaamad, vaid veelgi vastutusrikkamad elualad: tuumajaamad, lennundus, kosmosetehnika, sõjatööstus. Seetõttu ei ehita keegi madalsurve veekatlaid terasest, mis ettenähtud tuumajaamade radioaktiivsele piirkonnale, kus vähemalt 30-40 aastat on inimese (remondipersonali) ligipääs välistatud. Need sulamid on sageli kallimad kullast, mistõttu sellist katelt ei suudaks osta ükski soojafirma, kuigi see peaks metalli osas vastu vähemalt 100 aastat.

Samuti keskendutakse õhuheitmete vähendamisele põlemisprotsessis. Kõik arenenud riigid on kehtestanud kindlad keskkonnaheitmete normid CO, HCl, Hg, lendosakestele, raskemetallidele (arsen, berüllium, kadmium, kroom, tina, mangaan, nikkel ja seleen) ning kasvuhoonegaasidele nagu CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub>. Keskkonnanormid (EU direktiiv 2001/80/EC) sõltuvad kütuse liigist ja põletamise viisist, katla suurusest ja käikuandmise aastast,

koormusfaktorist, ja muutuvad aasta-aastalt nõudlikumaks, eelkõige suurtele põletusseadmetele. See asjaolu on võimaldanud taastuvat energiat (biomass, päikeseenergia) kasutavatel soojatootjatel edukamalt konkureerida fossiilkütust kasutavate kateldegaga.

Enamik katelde valmistajaid on saavutanud kvaliteedi juhtimissüsteemi ISO 9001 omistamise, mis on üheks garantiiks toodete kõrgele kvaliteedile ja keskkonnanõuete täitmisele. Teiseks on rahvusvahelised standardid nii materjalidele (terastele) kui ka tehnoloogiale, millest iga katlatootja peab kinni pidama.

Kõik need abinõud on muutnud katelde maksumuse aasta-aastalt kallimaks, samas ka efektiivsemaks ning käidukulud madalamaks tänu automatiseeritusele. Tellija esmaülesanne on majandusarvutuse abil kindlaks teha, kas saavutatav efektiivsuse tõus ja käidukulude vähenemine kompenseerib piisavalt kallima alginvesteeringu.

## 1.2 Millest sõltub katelde eluiga kõige rohkem

Enamik uurijaid on üksmeelsed, et inimfaktor ehk operatiivpersonali eksimused on põhjustanud 80-90% katelde enneaegseid rivist väljalangemisi. Sellekohaseid näiteid on ka Eesti kaugkütte sektoris hulganisti. Üheks eredamaks oli siinjuures uus 17 MW DE-25 katel, mis pärast paaripäevast proovikäivitust väävlirikkal masuudil jäeti piisavat talvekoormust ootama. Kolme ootekuu jooksul korrodeerus katla torustik täielikult (väävlikorrosioon). Katel vajab torustiku väljavahetust või mahakandmist!! Tegu oli personali hooletusega, kuid näide on õpetlik veel seetõttu, et seade võib vananeda ka siis kui seda ei kasutata.

Kui inimfaktorit mitte arvestada, eeldades, et nii käit kui ka hooldus on tasemel, siis ei sõltu palju ka katlafirmast. Tootja vead ilmnevad tavaliselt juba garantiiajal ning saavad garantiikorras parandatud.

Selles olukorras ja tiheda konkurentsi tingimustes ei anna katlafirmad (nagu ka kõik muud tehnoloogiafirmad) mingeid pikaajalisi lubadusi oma toodete eluea kohta. Küll aga antakse erinevaid garantiisid, olenevalt katla suuruselt ja võimsusest. Suurus ja võimsus on seotud katla transporditavate gabariitidega. On suur vahe, kas (väike) katel tarnitakse tervikuna tehasest tarbijale, või pannakse tarbija ehitusplatsil kokku sadadest ja tuhandetest pakettidena kohale saadetud katlaosadest. Olulisimad garantiidest on need, mis antakse seadmeile või katla osadele, mille avariilisuse korral ootab ees kas ülikallis remont või katla väljavahetus. Katelde puhul on selleks survetorustikele ja -mahutitele antavad garantiid.

### 1.2.1 Garantiidest ja tehnilisest elueast

Ükski tootja ei anna tavaliselt oma katlaile pikemaid garantiisid, kui 2-5 aastat, väikestele (kuni 1MW) ühepere- ja korruselamu kateltele ka kuni 10a. Ning seda vastavalt kokkulepitud tingimustel. Teisalt, seadme valmistajapoolsed vead selguvadki 2-5 aasta jooksul; kui see aeg on möödas, võib katel aastaid töötada ilma remonti vajamata.

Elektriijaamade ja suurte veekatelde puhul, kus iga katelagregaat toodetakse vaid kindlale tellijale, annab tootja vastavalt pakkumise dokumentatsioonis nõutule ka pikemaid töökindluse garantiisid (22-25a), osaliselt omapoolsete kohustustega, mis seotakse lisatasudega. Kuna katla, katlamaja ja elektriijaama rajamisel on palju alltöövõtjaid, on ka garantiid piiratud ning iga tarnija vastutab vaid oma seadme eest.

Tänapäeval rahvusvahelistes pakkumiste küsitlustes (vastavalt ICB – International Competitive Bidding nõuetele) käib garantiinõuete püstitamine tellija poolt, kasutades konsultatsioonifirmade abi. Kogu protsess algab tasuvusanalüüsist, kus püütakse leida kliendile (tellijale) soodsaim lahendus mitme alternatiivi seast. Kui see on leitud, valmistatakse rahvusvaheliseks pakkumiskonkursiks. Selleks koostatakse üksikasjalik ca 30-osaline (SIRP ehk Specified Information Required for Procurement) ülevaatlik tehniline spetsifikatsioon, mis hõlmab kõiki rajatava katlamaja (elektrijaama) alandmeid, koostisosi, komponente ja montaažitöid, kõiki seadmete eelkatsetuste, tehasekatsetuste, surveproovide, proovikäivituste ja üleandmise-vastuvõtu katsetuste korda, nõudeid katla tootlikkuse, efektiivsuse ja parameetrite garantiidele koos vastavate trahvide äranäitamisega juhuks kui neid nõudeid katel (katlamaja) ei täida katsekäivituste jooksul. Samuti on seal nõuded katla (katlamaja) tehnilisele elueale, kusjuures antakse ette käivituste/seisakute arv aastas, sh. külmkäivituste osakaal. Seega on tegu üksikasjaliku ja mahuka kogumikuga, mida iga võimalik pakkuja peab järgima. Olles kord pakkumise esitanud, tähendab see pakkujale samas ka garantiikohustuste aktsepteerimist.

Keskmise suurusega (kaugkütte) katlaile võib arvestada järgmiste garantiidega:

#### ***Piiratud 5-aastane garantii***

Selle annab katlatehas (ehk valmistaja) katla korpusele, põletile, automaatjuhtimisele ja teistele lisaseadmetele, mis on katlatehase poolt määratud kui standardvarustus, ja see kinnitab et standardvarustus on defektivaba nii materjali kui valmistuse poolest 5 aastat esimesest (originaal) paigaldusest. Juhul, kui 5a. jooksul midagi juhtub, teeb vajaliku remondi või asendamise valmistaja.

#### ***Piiratud 10-aastane garantii katla survemahuteile (sh. trumlile)***

Valmistaja garanteerib, et survemahuti on vaba materjali ja valmistamise defektidest 10a jooksul alates paigaldusest. Kui see ei pea paika, teeb valmistaja vajaliku remondi või asendamise.

#### ***Piiratud eluaegne garantii katla survemahutile 10+ aastail***

Survemahuti on lekkevaba õige kasutamise korral, milles regulaarne instruktsioonidekohane käit ja hooldus on esmase (originaal) omaniku poolt tagatud nii kaua kui omanik soovib seda kasutada (niinimetatud „Eluaegne garantii“). Kui see ei pea paika, teeb valmistaja vajaliku remondi või asendamise, kuid seda tingimustel kui Omanik maksab proportsionaalse osa survemahuti alg (eelarvelisest) hinnast:

1 päev üle 10a kuni 11 aastani - 20%; 12.aasta – 40%; 13aasta – 50%; 14. aasta – 60%; 15. ja järgnevad aastad – 75%.

Need nõuded kehtivad vaid kindlatel lisatingimustel, millest olulisem on, et katla paigaldaks sertifitseeritud firma, mis tegutseb katla tarnija otsese järelevalve all. Paigaldaja poolt põhjustatud praagi eest katla valmistaja ei vastuta.

Analoogseid garantiisid annavad väikekatelde (alla 1MW) välismaa tootjad ka kogu väikekatlaga katlamaja kohta, juhul kui kogu järgnev katla teenindamine (koos lisatasuga) jääb samuti valmistajafirma ülesandeks. Ka siis lisatakse teenindustasule proportsionaalne osa pärast 10-aastast garantiiperioodi, kui tellija soovib pikemaid garantiikohustusi.

Seega, katlatehased ja teenindus (käidu) firmad kasutavad ära soodsa turuniši, ja võtavad endale pikemad garantiikohustused vastava lisatasu eest. Kõik see ei tähenda sugugi, et enamik katlaid ei peaks iseenesest kauem vastu. USA tööstuskatlamajade ca 43000 katlaist on

76% üle 30 aasta vanad, sh. 66% väga suurtest (elektrijaamade) kateldest! (Siin pole toodud andmeid operatiivsest tööeest).

Ka Eestis Narva elektrijaamade vanemad katlad töötasid ligi 45 aastat (siin kalendriaastat, sest kõik nad polnud pidevalt töös), kuni nad maha kanti osaliselt vanuse, osalt keskkonnanõuete tõttu, mida nõuab EL suurte põletusseadmete direktiiv. Siin võib teha järelduse, et suurte katelde tegelik eluiga võib ületada nn. väljapakutud tehnilise eluea pikkust - 25 aastat, põhjendatud katlametalli termilisest väsimisest. Seda juhul, kui läbiviidavad metallialüüside tulemused seda võimaldavad.

### 1.2.2 Katlametalli termilisest väsimisest

Asjaolu, mis määrab otsustavalt põletusseadmete eluea, on selle surveseadmete või kolde detailide (resti) metalli termiline väsimine. Seadmes, mis töötavad kõrgetel temperatuuridel, mõjub materjalide vananemisele mitmeid erinevaid mehhanisme, millest mõned võivad toimida koos või üheaegselt, mistõttu purunemist nende tegurite koosmõju tõttu pole lihtne ennustada.

Kuigi seadme materjalid on termilistele pingetele hästi vastupidavad, võivad esineda probleemid ka keevisõmbluste kohtades. Kuna keevitamisel allub metall ülikõrge temperatuuri mõjule, mõjutab see kindlasti metallide struktuuri keeviskohtades. Suurtel katelagregaatidel on tuhandeid keevisõmblusi, ja kuigi nende kvaliteeti kontrollitakse, võivad sellest põhjustatud termilised jääkpinged jääda sisse ja pikapeale avaldada oma mõju.

Katelde lõplik eluiga ei sõltu nii palju sellest, kas see on ehitatud hästi või halvasti (halvad kaovad turult niikuinii), samuti ka mitte ümberehitusest ehk renoveerimisest. Reaalsus on selles, et teras (iga katla- ja turbiiniteras, milliste koostis on täpselt standarditega kehtestatud) kannatab termilist paisumist/kokkutõmbumist ainult teatud arv kordi, seejärel ta väsib termiliselt (tema kristallstruktuur muutub, tekivad mikropraod) ja ta võib ootamatult puruneda.

Metallide termilise väsimise standardid (EN, DIN, GOST, USA-s ASME) kehtivad nii lääne kui ka vene seadmeile. Tavaliselt loetakse erinevatele katla torustikele ja armatuurile operatiivseteks piirtöötundideks 150000-200000 töötundi, mille järel hakkab purunemise oht termilisest väsimisest järjest kasvama. Arvestades max 8000 töötunniga ja 1-kuulise hoolduspausiga aastas, saaksime ülaltoodud tundide alusel tööeaks ca 19-25 aastat. Kuid katelde tegelik tööiga sõltub lisaks veel töörežiimist, eriti käivituste/seisakute arvust aastas.

Ka kaugkütte katlamajade ehitamisel püstitab töökindluse eesmärgid Tellija oma pakkumiste küsitlusdokumentides.

#### ***Näide tehnilisest spetsifikatsioonist kaugkütte katlamajale:***

- Kaugküttes kasutatav 5MW hakkpuidul katlamaja peab olema võimeline töötama 8500 tundi kuni 50 käivitusega aastas (arvestamata plaanitud hooldeseisakuid), millest mitte üle 20 võivad olla külmkäivitused. Aastaseks hooldeseisakuks suvel on plaanitud keskmiselt 2 nädalat. Neil tingimustel on katlamaja plaanitud eluiga 200000 tundi ehk ca 25 aastat.
- Katlamaja peab kogu eluea jooksul kindlustama „Garantiides“ ettenähtud tootlikkuse selliselt, et ühelegi tema koostisosale ei teki lubamatuid pingeid (termilisi jm. ülekoormusi).

- Valmistaja on vastutav kõigi võimalike materjalide või teostuse defektide eest, mis võivad esineda garantiiperioodil.
- Valmistaja vastutus ei lõpe seni, kuni kõik garantiiperioodil esinenud defektid saavad kõrvaldatud.
- Kiirestikuluavad osad võivad saada asendatud katlamaja hooldepersonali poolt vastavalt „Käidu ja hoolduse eeskirjale“, kuid see ei mõjuta Valmistaja garantiikohustusi.
- Valmistaja garantiiaeg kestab 2 aastat ning algab kohe, kui vastuvõtu (commissioning) katsed on lõppenud edukalt ja heaks kiidetud Tarbija poolt.

### ***Oodatav eluiga***

Avariisid metallide väsimusest algpõhjusena on siiski harva, kuid just inimfaktor võib avariile viivaid protsesse mõjutada, ning tavaliselt ohtlikumas suunas. Sagedamini juhtub seda neis kaugkütte katlamajades, kus automaatika ja kaitseseadmed pole piisavalt tasemel, et katelt operaatori väära tegevuse puhul kaitsta. Tavaliselt kuulub elementaarsete vigade avastamine ja vastavate ettekirjutuste tegemine kohaliku Tehnilise Järelevalve inspektori (katlainspektori) kompetentsi, kes pikendab või ei pikenda sel juhul katla kasutusluba. Kui katlal on teatav kriitiline osa valtsitud torudest kinni keevitatud või punnitud, kõrvaldamaks lekkimist, peatab inspektor selle katla käitamise. On juhtumeid, kus aurukatla nivookaitse ei tööta ja katel keeb kuivaks, kus ei peeta kinni toitevee kvaliteedist, mille tagajärjeks katlakivi teke ja torustike ülekuumenemine, ei peeta kinni sissekütmise ja seiskamise ajagraafikust (temperatuuri tõstmise ja langetamise kiiruse suhtes on ranged reeglid), ringluspumba võimsusest, ettenähtud retsirkulatsiooni temperatuurist, etteantud kütuse kvaliteedi nõuetest jne.

Kaasaegsed võimsamad katlad omavad täiuslikumaid arvutijuhtimisega süsteeme, milles salvestatakse ühtlasi kõik operatiivsed lülitused, signalisatsiooni ja kaitsete rakendused, jms. See on viinud katla töö efektiivsemaks, inimfaktori vääртеgevuse võimaluse minimaalseks ning kogu tegevuse jälgitavaks. Maailmas on palju elektrijaamu ning katlamajasid, mis töötavad ilma personalita, või siis jaama tööd jälgitakse ja juhitakse distantsilt arvuti ekraanil. Tahkel ja biomass kütuseil töötava jaama puhul on minimaalne personal vajalik vaid kütuse vastuvõtuks ning selle kvaliteedi kontrolliks.

### **1.3 Erinevate tootjate poolt ehitatud ja erinevaid kütuseid kasutavad katlad (k.a. kombikatlad)**

Eesti Statistikaameti (ESA) andmeil oli Eestis kokku üle 3924 katla, neist 785 biomassi (turvast ja puitu) kasutavat katelt; neist ligi kolmandik on võimsamad kui 100kW. ESA andmebaas kajastab vaid registreeritud katlaid. Kodude ja kodumajapidamiste kütteks rajatavate väikekatlamajade (10-55kW) arv kasvab pidevalt ning nende üle puudub nii kontroll kui ülevaade.

Eesti kaugküttes olid aastakümneid kasutusel vene päritolu katlad, kuna teiste firmade katlaid polnud võimalik saada. Osa neist on töövõimelised ka tänapäeval, mõnele võimsaimale neist on tehtud põhjalik renoveerimine, mille juures on endisest katlast jäänud järele vaid katla töötav konfiguratsioon torustike ja küttepindadega; vahetatud on põletid, juhtimissüsteem,

suitsuimejad, ventilaatorid, pumbad. Katla korpuse isolatsioon on uuendatud ja kaetud plekkkattega.

### 1.3.1 Kasutusel olevad katlad alates suurimaist

1. Ülekuumendatud vee katlad PTVM-30 (30 Gcal/h või 35 MWth), PTVM-50 (50 Gcal/h või 58 MWth) ja PTVM-100 (100 Gcal/h või 116 MWth), valmistatud Dorogobushi katlatehases Smolenski oblastis, Venemaal. Need masuudikütusel suhteliselt ebaökonoomsed tornkatlad olid ette nähtud lühiajalise tipukoormuse katmiseks N.Liidu suurlinnade kaugküttesüsteemides, mille baaskoormust kandsid soojuse ja elektri koostootmisjaamad. Tegelikult paljudes kohtades (sh. Tallinnas, Tartus, K-Järvel) kasutati neid baaskoormuse katmiseks, kusjuures enamik neist varustati gaasipõletitega maagaasi kasutamiseks masuudi asemel.
2. KVGM katlad (osa valmistatud Barnaulis, osa Dorogobushis) on samuti ülekuumendatud vee katlad, kuid võimelised põletama nii gaasi kui masuuti. KVGM katlaist võimsaim on KVGM-100 (100 Gcal/h või 116 MWth), Eestis levinud on ka KVGM-12 ja KVGM-35 (35 Gcal/h või 42 MWth). Neid katlaid on kasutusel Tallinnas, Tartus ja Viljandis.
3. Biiski katlatehase algselt masuudil (hiljem ka gaasikütusele seadistatud) kahe trumliga aurukatlad DKVR (ning uuem variant DE) on Eestis levinuimad veetoru katlad (kokku ca 500 katelt), mida leidub peaaegu iga linna katlamajas. Väikseim neist on DKVR-2,5/13 (aurutoodang 2,5tonni/h, 13 baari), Järgnevad selles seerias on 4; 6,5; 10; 16 ja 20 t/h aurutoodanguga DKVR-id. Moodsamaid 14 baari auru rõhuga DE katlaid on veidi vähem, levinuimad DE on vastavalt 10; 16 ja 25 t/h aurutoodanguga katlad, millest viimane, 25t/h (ca 17MW) aurukatel on selle seeria suurim. Moodsaim variant neist on DE 25/14GM, milline on juba tehases varustatud põletitega kahe kütuse (gaas/masuut) põletamiseks. Kuna tegu on aurukateldega, vajasid katlamajad võimsaid torutüüpi aur/vesi soojusvaheteid, et toota kaugkütte vett. Nüüdseks on suurem osa neist katlaist rekonstrueeritud ülekuumendatud vee katlaiks.
4. Leek-suitsutoru katlaist võimsusega kuni 1MW on põhiliselt kasutatud kodumaiseid „Kiviõli“ tüüpi katlaid. Sellised katlad olid levinud valdavalt väiksemates katlamajades (mõnes kuni 12 katelt). Nende tootmine Kiviõlis lõppes juba ammu, kuid kuna nõudlus oli suur, siis neid suhteliselt lihtsa ehitusega katlaid õpiti remontima/renoveerima ka kohalikes töökodades. Veel mõned aastad tagasi valmistati AS Termesti Tallinna töökojas praktiliselt uued katlad, kus nii leektoru, torulauad, suitsutorud ja katla korpus valmistati kohapeal.

#### Nimetatud vene katlad esindavad 40-50 aasta vanust tehnoloogiat ning nende:

- Tegelik võimsus ja efektiivsus on madalamad kui tootja passis;
- Põlemisprotsessi automaatne reguleerimine on algeline või puudub. Reeglina on õhukulu reguleerklapp pärani lahti ning koormust reguleeritakse vaid kütuse koguse muutmisega. Seetõttu on põlemise kasutegur suhteliselt madal;
- Operatiivpersonalil (sageli ka firma juhtkonnal) pole motiveeritust efektiivsemaks tööks;
- Teenindava personali arv on suur;

- *Töökindlus on madal, remondivajadus sagedane;*
- 5. Pärast Eesti taasiseseisvumist hakati juurutama ka välismaiseid katlaid. Esialgu, piiratud finantside tõttu suudeti hankida vaid pruugitud leek/suitsutoru katlaid, hiljem kui avanes võimalus abirahade ja toetuste saamiseks, hakati hankima ka uusi biokütuste põletamise seadmeid.
- 6. Võeti ette ka olemasolevate vene katelde põhjalikke ümberehitusi. Nii on Tallinnas põhjalikult renoveerinud võimsamaid PTVM ja KVGM katlaid. Tulemuseks saavutati praktiliselt automaatne töö ja kuni 94% kasutegur (gaasiküttel). Massiliselt levis ka kahe trumliga DKVR ja DE aurukatelde üleviimine veekatlaiks, milles aluseks olid Peterburi Keskse Katlaturbiini Instituudi (ZKTI) vastavad joonised ja juhendid.
- 7. Väiksemate, kuni 1MW „Kiviõli“ katelde puhul muutus jõukohaseks hankida esimese asjana kaasaegne gaasi- või vedelkütuse põleti, milline tagas sisseehitatud seadistuse kaudu optimaalse kütus/õhk suhte igal koormusel. Sellega kaasnesid ka põlemise kõrgemad kasutegurid.

### 1.3.2 Katelde üleviimine biokütusele

Fossiilkütuste jätkuv hinna tõus ja jäigemad keskkonnanõuded muutsid atraktiivseks odavamate biokütuste kasutamise. Üle 85% kõigist biokütuse projektidest Eestis on olnud seotud olemasolevate katelde üleviimisega gaasi- või masuudikütustelt biokütustele. Levinud meetodiks oli biokütusel eelkollete ehitamine, kusjuures olemasolev katel jäi seejärel soojusvahetiks või eelkoldes tekkinud biogaasi järelepõlemise paigaks. Katlaiks olid valdavalt vene DKVR katlad võimsustega 2;8; 4,5 ja 7 MW, millised olid eelnevalt veekatlaiks üle viidud. Võimsamate (PTVM, KVGM) katelde üleviimine biokütusele praktiliselt puudus, ainsaks näiteks kaks KVGM-35 katelt Tartus, mis rekonstrueeriti keevkihtkoldega katlaks. Väiksemate võimsuste jaoks (kuni 1MW) on kasutatud valdavalt Eesti „Kiviõli“ tüüpi katlaid ning Eesti tootjate poolt valmistatud eelkoldeid.

Ligi 15 aasta jooksul on meie suuremates katlamajades ( kaugkütte ja tööstuskatlamajades) biokütusele üle viidud 43 DKVR ja DE katelt, 111 erineva võimsusega „Kiviõli“ katelt ning üle 20 erinevat tüüpi välismaiseid ja Eesti katlaid, millest kõige enam Taani Danstoker ja Multimizer, samuti Soome Laka, vene Universaal 5 ja 6 (malmribi katlad), india RFV-3000 ja Eesti Kadrina 2,0 ja T4,5V katlad.

Olemasolevate katelde massilise biokütusele üleviimise põhjusteks oli suur hulk kasutult seisvaid reservkatlaid katlamajades ning üleviimise suhteliselt madal hind tänu Eestis ehitatud eelkolletele biomassi põletamiseks. Parimates DKVR ümberehituste projektides saavutati 85-90% kasutegur, - sageli seega kõrgem kui originaalkütuste – gaasi või masuudi puhul.

Üleviimisprojektides imporditi enamik vajalikest lisaseadmetest (kütuse etteande ja tuha ärastusseadmed, veepehmenus, automaatika, katla või eelkollete liikuvad restid, pumbad jms.) lääneriikidest. Väiksemate katelde (Kiviõli) puhul valmistati nii eelkolle kui kütuse etteanne Eestis. Ümberehituste maksumus ja kvaliteet sõltus suuresti rahastamise allikast, lääne ekspertide kaasamisest ja seadmete pakkumiskonkursi organiseerimise tasemest.

DKVR muundamistes olid parimate tulemustega AS Tamult, AS Agrosilva ja AS Ener, mis ühtlasi pakuvad ka seadmete teenindust (praegu 2 esimest). Mõned Kiviõli katelde eelkollete tarnijad (AS Terg, AS Miiduranna Tehas ) on tänaseks oma tegevuse lõpetanud.



Peaaegu kõik muundatud katlad on sobitatud restküttega eelkolletega. Erandiks on kaks Tartus asuvat KVGM-35, mis on rekonstrueeritud Soome firma Ahlström (nüüd Foster Wheeler) poolt keevkihtkatlaks ning töötab hakkpuidul ja freesturbal.

### 1.3.3 Uute biokütusel katelde installeerimine

Aja jooksul ja soodsate abiprogrammide kaasabil osutus võimalikuks ka täiesti uue lääne katlatehnoloogia import.

Foster Wheeler, Sermet (nüüd Wärtsilä), Putkimaa, Noviter ja Laka on Soome katlaehituse firmad, kelle toodetud biokütusel katlaid on Eestis paigaldatud. Taani tootjaid esindavad Reka ja Volund ning Rootsit Parca AB katlad ja Saxlund eelkolded.

Parimad tulemused saavutati siis kui nii katel, lisaseadmed ja ka automaatika tarniti ja paigaldati biokütuste põletamisele spetsialiseeritud firma poolt. Sellised on Sermet (Wärtsilä) ja Reka katlamajad. Eestis on **9** Sermet (Wärtsilä) katelt ja **3** Reka katlamaja. Paraku on nende maksumus ka mõnevõrra kõrgem. Selliste katelde eluiga on **15-20 a**.

Suhteliselt soodsad lahendused on saavutatud ka siis, kui kasutatud on ainult lääne katelt (õli või gaasiküttel, soojusvahetina), kuid biokütusel eelkole, kütuse etteanne ja muud lisaseadmed on valmistatud või tarnitud Eesti firmade poolt. Parimaks katlaks neile lahendustele on osutunud Soome Laka leek/suitsutoru katel, millise leek- ja suitsutorud on vertikaalse paigutusega, mis hoiab ära lendtuha sadestuse tekkimise suitsutorudes ja vähendab sellega hoolduskulusid. AS Agrosilva on installeerinud 9 sellist katlamaja Eesti asulais. Seejuures on katlad pidanud vastu vähemalt **20 a**. Kuid kiiremini ütlevad üles eelkole ja restid.

Eesti katlamajade ehitusfirmad AS Tamult, AS Agrosilva, AS Napal ja AS Filter on saavutanud häid katlamajade ja väikeste koostootejaamade lahendusi, ning püsivad jätkuvalt turukonkurentsis. Neist AS Tamult poolt on 2010.a. täielikult renoveeritud Lihula katlamaja ja evitatud 1,8MW Taani katel luhahaina, roo ja hakkpuidu põletamiseks. Katlamaja renoveeriti Norra finantstoetuste abil. Sellisena on see projekt Eestis ainulaadne.

Tabel 1-1 Suuremad biomassi kasutavad katlad ja keskmine kütuste tarbimine

Maakond	Biomassi kasutavad katlad	Katelde kogu-võimsus,	Kogu biomassi energia	Sellest turba-kütused	Sellest puidulised kütused	puidutööstuste oma tarve
	Arv	MW	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Harjumaa	13	61,1	226,191	14,3	211,891	65,003
Hiiumaa	7	7,3	20,122	0	20,122	3,8
Ida-Virumaa	9	17,74	119,271	22	97,271	50,388
Jõgevamaa	19	25,53	70,93	0	70,93	18,83
Järvamaa	12	52,1	196,807	0	196,807	63,198
Läänemaa	6	17,9	73,02	8,25	64,77	6,125
Lääne-Virumaa	19	29,4	113,432	10,407	103,025	25,2
Põlvamaa	22	32,84	64,897	0	64,897	26,991
Pärnumaa	15	83	368,476	189,715	178,761	92,66
Raplamaa	10	11,4	30,889	4,2	26,689	14,688
Saaremaa	20	26,7	95,131	9,42	85,711	4,8

Tartumaa	36	110,8	450,71	225,2	225,51	67,898
Valgamaa	41	79,48	253,415	0	253,415	69,064
Viljandimaa	13	45,8	210,148	0	210,148	59,345
Võrumaa	14	38,6	146,466	0	146,466	53,75
Kokku	<b>256</b>	<b>639,69</b>	<b>2439,905</b>	<b>483,492</b>	<b>1956,413</b>	<b>621,74</b>

Momendil kasutatakse vabariigis kaugkütte soojavarustuses suuremal või väiksemal määral biokütuseid (puit ja turvas) paljudes linnades, nagu Tallinna, Tartu, Pärnu, Haapsalu, Kuressaare, Võru, Viljandi, Keila, Paide, Türi, Valga, Paldiski, Tamsalu, Kadrina, Jüri, Põltsamaa, Elva, Kärkla, Lihula jt. katlamajades või koostootmisjaamades. Valdav enamik neist katlamajadest kasutavad puidulisi kütuseid põhikütusena (peamiselt tööstuslikku hakkpuitu ja puukoort).

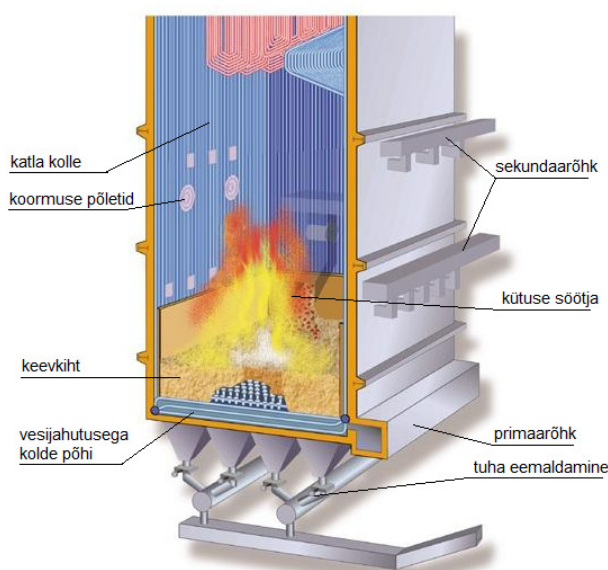
Nimistust puuduvad Ida-Virumaa suuremad linnad, sest põlevkivi baasil soojuse tootmine on seal senini osutunud soodsaimaks.

### 1.3.4 Koostootmisjaamade katlad

Uued Eestis rajatud biokütustel töötavad koostootejaamad kasutavad kõik kaasaegseid keevkiht-tehnoloogial töötavaid veetoru-aurukatlaid.

Keevkihtkatelde eelised

- Suur paindlikkus kütuste suhtes
- Suur valikuvõimalus erinevate kütuste liikide ja kütteväärtuste osas
- Automaatselt juhitud põlemisprotsess
- Väga põhjalik kütuste tuhastumine, saasteainete madal tase ja kõrge termiline efektiivsus
- Lihtne ehitus
- Kõrge töökindlus
- Madalad teeninduskulud



Joonis 1.3 Keevkihtkatla koldeosa läbilõige

Skeemilt Joonis 1.3 on näha, et keevkihtkolde alaosa on kaetud tulekindla müüritisega, vältimaks ekraanitorude kulumist pulbitsevas liiva- ja tuhakihis. Koostootmisjaamade kõrgsurvekatlad kestavad hinnanguliselt **22-25 aastat**.

#### **1.4 Tootmiseseadme põhi- või tipukoormuse katmisest tulenev võimalik tehnilise eluea erinemine ja selle põhjused (näiteks gaasil või vedelkütusel töötava katla käivitamine vaid tipukoormuse katmiseks)**

Nagu eespool öeldud, katla tehnilise vananemise olulisemaid põhjuseid on katla metalli termiline väsimine, põhjustatud vahelduvast termilisest koormusest. Siit järeldeb, et katlad, mida käivitatakse/seisatakse sageli, ei kesta nii kaua, kui põhikoormuse katlad, millised töötavad pikka aega ühtlase muutumatu koormusega. Seejuures eeldame, et mõlemal juhul on tegu normaalse käitamisprotsessiga, täpses vastavuses valmistaja-tehase instruksioonidele.

Eeltoodu puudutab gaasi või vedelkütuse katlaid. Mitte ainult seepärast, et neid katlaid on lihtsam kiiresti käivitada/seisata kui tahkel või biokütusel töötavaid. Pigem on põhjused majanduslikud. Gaas ja fossiilsed vedelkütused on reeglina kallimad kui tahked- või biokütused, mistõttu gaasi ja vedelkütuseid kasutavate katelde saatuseks on muutuda tipu- või avariikoormuse kandjaks, juhul kui katlamajja või elektriijaama hangitakse põhikoormuse kandjaks tahkel või biokütusel töötav katel või koostootmisjaam. Nii on juhtunud paljudes Eesti kaugkütte ettevõtetes. Kui biokatel (katlad) või koostootmisjaamad on installeeritud baaskoormusel (ei ole üledimensioneeritud), siis töötab jaam nii palju kui võimalik ning soojusliku võimsuse kasutustunnid on ligi 8000 tunni aastas. Fossiilkütustel tipukatlad töötavad vaid kõige külmematel perioodidel, mil biokatelde võimsusest ei piisa tarbimise katteks. Seega on nende tööaeg ca 2-3 kuud aastas.

Kuna meie talved on väga vahelduva ilmastikuga, tuleb ka sel perioodil tipukatlad sageli sisse/välja lülitada. Otstarbekam on neid katlaid (vähemalt ühte) hoida kuumas reservis, sest kuumkäivitus on ohutum ja lühemaajaline kui külmkäivitus. Kuumas reservis hoidmine on aga seotud teatava soojuskaoga. Tänu soojusvõrkude suurele inertsile pole siiski tipukatelde käivitusi niivõrd palju, mis oluliselt mõjutaks nende eluiga.

Teine asi on suviste režiimidega katlamajades, mis töötavad eranditult fossiilkütustel, või juhul kui põhikoormust kandev biokatel pole võimeline nii madalate koormustega tööks. Sel puhul tuleb katelt käivitada/seisata mitu korda ööpäevas. Eriti kui katel ongi ette nähtud töötamiseks „on-off“ režiimis, nagu enamik maagaasil evitatud korruselamute katlaid. Mis tähendab, et niipea kui nõutav temperatuur soojusvõrgus on saavutatud (ca 65°C), lülitub katel välja. Kui temperatuur võrgus langeb (näiteks alla 55°C) lülitub katel töösse. Ja nii korduvalt. Sel puhul soovib teaduslik kirjandus ja konsultandid kasutada lisaks soojusvõrgu veemahule veel akumulaatorpaaki, mis väldib liiga sagedasi seisakuid/käivitusi. Taanis näiteks on akumulaatorpaagid kasutusel pea iga asula või küla katlamaja juures.

Eestis on akumulaatorpaagid seni kasutusel vaid Tartu ja Pärnu koostootejaamades, seal on neil lisaks teine ülesanne – elektriijaama stabiilse töö tagamine väga madalatel soojuskoormustel. Ka ehitatavas ORC ( Organic Rankine Cycle) tehnoloogiaga Kuressaare SEK jaamas tuleb kasutusele akumulaatorpaak ja õhk/vesi lisajahutid.

Veelgi sagedamini (mitukümmend korda ööpäevas) lülitub „on-off“ põletitega katel sisse/välja korterelamu katlamajas, ja seda aastaringelt. Samuti aurukatlad tööstustes, kus

auru vajatakse perioodiliselt, - sel puhul järgib katel auru rõhku ning lülitub samuti sisse/välja kümneid või isegi sadu kordi ööpäevas. Nende katelde puhul võib katla tehniline eluiga olla **30-35% lühem**, kui stabiilse töörežiimiga moduleeriva põletiga katlail. Olukorda aitab mõnevõrra kompenseerida „on-off“ põletitega katelde soodsam hind.

Elektrijaamade võimsate aurukatelde puhul on vajalik termilise väsimuse ennetamiseks katelde olukorda perioodiliselt kontrollida, sest:

- Seadmete koormustsükkel muutub igapäevaselt tänu turuolukordadele ja keskkonna nõudeile;
- Katla enneaegse väljalangemise remondikulu tänu tsüklilisest tööst põhjustatud termilisele väsimusele on kõrge;
- Teeninduskulude eelarve kui ka seadmete võimalikud seisakud on piiratud, mistõttu ootamatuid kulutusi tuleb vältida;
- Aurukatelde tehniline eluiga on normaalselt 25-30 aastat;

Vanemaid Narva elektrijaamade aurukatlad hoiti töökorras tänu pidevatele ja perioodilistele remontidele, sealhulgas ka tervete torupakettide vahetusele. Katlad nimetatigi „remontideks ehitatuiks“, selleks oli loodud ülivõimas remondiorganisatsioon „Energoremont“. Selle tulemusena olid mõned aurukatlad töövõimelised 40 aastat ja enamgi, kuigi kõik sellest pole operatiivne eluiga.

Tänapäeva tingimustes on sellise sageduse ja mahukusega remondid mõeldamatud. Iga taolise kapitaalremondi tänapäevane maksumus on sedavõrd kõrge, et tõsiselt tuleb mõelda uue kaasaegse katla hankimisele.

## **1.5 Erinevaid kütuseid kasutavate katlamajade komponendid, sh need mille tehniline eluiga ei ole sarnane põhiseadmega (näiteks soojusvahetid, pumbad, ökonomaiserid, põletid, elektrisüsteemid, torustikud, restkolde katla restid jne)**

### **1.5.1 Soojusvahetid**

Üha enam Eesti soojuse tootjaid on jõudnud arusaamisele, et soojusvõrgu vett otse läbi veesoojenduskatla pumbata on katlale mitmel põhjusel kahjulik. Seetõttu vesi/vesi soojusvahetid on kaasaegse katlamaja lahutamatu koostisosa, kus katlas ringlev keemiliselt pehmendatud vesi omab sõltumatut kontuuri ning on ühendatud soojusvõrgu veega ainult läbi soojusvaheti. Siin on mõningane analoogia Nõukogudeaegse DKVR aurukatelde kasutusega, kus samuti olid kasutusel aur/vesi soojusvahetid. Need torutüüpi soojusvahetid olid paraku katlamajades pidevalt probleemiks, torulaudadesse valtsitud peened (DN 16mm) messingitorud hakkasid sageli lekkima ja vajasisid remonti (ülevaltsimist või torude vahetust). Need soojusvahetid ei kestnud reeglina sama kaua kui katlad.

Tänapäeval kasutatakse moodsaid kompaktseid plaatsoojusvaheteid ning katlamajade võimsuste puhul on nad tavaliselt avatavat (kummitihenditega) tüüpi. Ka nendega esineb probleeme, seotud termiliste pingetega, soojusvõrku vee kvaliteediga, sadestuste tekkega ja lekkega läbi tihendite. Tihendite vahetus maksab tavaliselt tunduva osa uue soojusvaheti maksumusest, lisaks eeldab see õhukestelt terasplaatidelt sadestuse ja katlakivi eemaldamist,

mis on väga tülikas, võib rikkuda plaadi konfiguratsiooni ning remonditud soojusvaheti ei tarvitse ka uute tihendite puhul vett pidada. Seetõttu püütakse hankida uus soojusvaheti, kuigi see on piisavalt kulukas investeering.

Kokkuvõttes võib hinnata soojusvahetite tehniliseks elueaks **8-12 aastat**. Soojusvahetite eluiga ja selle pikendamine pole iseseisev sõltumatu probleem, see on seotud kogu soojusvõrgu olukorraga, sealhulgas tarbijate soojussõlmede seisukorraga (kas avatud või kinnine süsteem), samuti soojusvõrgu veepehmenduse kvaliteediga.

## 1.5.2 Pumbad

Maailma energiatarbest arvestatakse pumbasüsteemidele ligi 20% ja teatavates tööstusharudes, sh. energeetikas moodustab see 25-50% omatarbe elektrivajadusest; omatarve on tahke kütusega elektrijaamades 8-10% elektritoodangust. Kaugkütte katlamajades võib see tõusta kuni 70%-ni omatarbest, kui arvestada ka võrguvee pumpadega, mis võtavad üksi ca 65% elektri kogutarbimisest. Seetõttu on soojamajanduse üheks oluliseks efektiivsuse näitajaks elektri erikulu tarbitud soojusühiku kohta (kWh/MWh), mis ei iseloomusta ainult soojusvõrgu, vaid kogu süsteemi „katlamaja+soojusvõrk+tarbijad” olukorda ja töörežiime. Eesti parimates kaugküttesüsteemides on selle näitajaga jõutud tasemele 13-16 kWh/MWh, kusjuures talvekuudel on see 11-12 kWh/MWh. Põhjamaade kaugküttesüsteemides on elektri erikulu reeglina alla 10 kWh/MWh, parimates võrkudes 4-6. Sellist taset ei saavutata vaid pumpade väljavahetusega. Veidi lihtsustatult on põhjus järgmises:

Pumba abil ülekantavat soojushulka  $Q$  iseloomustab valem  $Q=G*\Delta t$ , kus  $G$  on vooluhulk t/h ning  $\Delta t$  soojuskandja temperatuuride vahe. Sama soojushulga ülekandmiseks on kaks põhivõimalust:

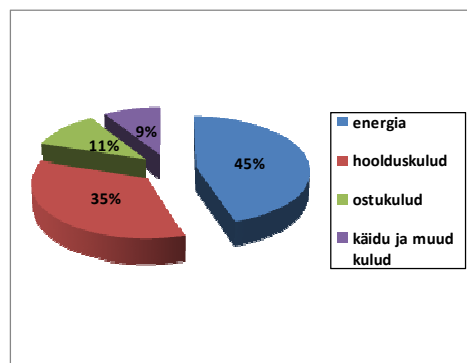
1. Võib pumbata ringi suurt soojaveekogust, mille puhul tarbija poolt äravõetav temperatuurivahemik  $\Delta t$  on väike (kuni 10°C). See nõuab võimsaid pumpi ning suurt elektrienergia kulu, samuti piisava läbimõõduga soojusvõrke. Nii toimus soojusvarustus nõukogudeaegses kaugküttesüsteemis, kus tarbija soojussõlme reguleerimisseadmed ei võimaldanud suurema  $\Delta t$  kasutamist ning tarbimist reguleeris katlamaja operaator vastavalt välistemperatuurile. Paljudes küttevõrkudes jätkub selline töö tänaseni.
  2. Tarbija soojussõlmes võib kasutada suuremat temperatuurivahemikku  $\Delta t$  (näiteks 40-45°C); järelikult on vaja pumbata ca 4,5 korda vähem vett, saamaks sama soojushulga, mis 1. variandi puhul. Sellega kaasneb vastavalt 4,5 korda väiksem elektrienergia kulu, samuti võib olla väiksem soojustorustike läbimõõt ja selle maksumus. Sellist süsteemi kasutatakse kõikides põhjamaade soojusvõrkudes. Tarbijat, kelle  $\Delta t$  on alla 40 või 45°C, isegi trahvitakse, sest sellega rikub ta kogu süsteemi tasakaalu.
- Sellise režiimini jõudmiseks on vaja kõigepealt kõik tarbijad varustada kaasaegsete soojussõlmedega ning need välja reguleerida.
  - Edasi minna üle suure  $\Delta t$ - ga soojusvarustusele, arvutada vajalike uute pumpade võimsused ning hankida õige võimsusega pumpad. Uued pumbad tuleb viia üle sagedusjuhtimisele, st, kus vooluhulka reguleeritakse pumba pöörete arvuga, mitte piiratakse siibriga. Sagedusjuhtimine annab veel täiendavalt suurt elektrienergia säästu.

- Need meetmed annavad suurt elektrienergia kokkuhoidu, parandavad soojusvõrgu tööd ning vähendavad investeeringuid soojusvõrkude renoveerimiseks (sama soojushulka saab siis üle kanda tunduvalt peenemate trasside kaudu).
- Aastaringne suur  $\Delta t$  ja madal (soovitav alla 50°C) vee temperatuur tagastavas torus loob omakorda eelduse suitsugaaside pesuri rakendamiseks.

Paljud ettevõtted arvestavad uute pumpade valikul vaid pumba maksumust ja paigalduskulu. Õigel pumpade valikul (sarnaselt teiste suurte põhiseadmetega) on soovitatav hinnata iga pakutava pumba elutsükli kogukulud (ostu, paigalduse, opereerimise, hoolduse ja demonteerimise kulud). Selline hinnang aitab kindlaks teha majanduslikult kõige soodsama alternatiivi. Uuringud näitavad, et sel kombel saab säästa 50% ja enamgi elektrienergiat, võrreldes seniste pumpadega. Ühtlasi aitab energia kokkuhoid vähendada kahjulikke heitmeid ja säästa loodusressursse.

Pumpade diapasoon katlamajades, eriti aga koostootmisjaamades on lai. Kõik pumbad pole võrdselt pingeliselt koormatud ega võrdse vastutusega. Vastutusrikkamad pumbad on katlamajades soojusvõrgu tsirkulatsioonipumbad, mis töötavad aastaringi, tagamaks tarbijate soojusvarustuse; koostootmisjaamades on nendeks aurukatla toitepumbad, mis tagavad katla pideva varustuse kõrge survega toiteveega. Tavaliselt on vastutusrikkamad pumbad dubleeritud, nii et pumba lekke või rivist väljalangemise korral lülitub automaatselt töösse reservpump. Lisapumba vajalikkuse otsustab majandusarvutus, milles lisapumba maksumust võrreldakse kahjumiga, mida võib põhjustada põhiseadme (elektrijaama) sunnitud seisak.

Pumpade enneaegne väljalangemine on seotud valdavalt erosiooniga (kulumisega), see aga pumbatava vee kvaliteediga. Kui pumba töörrattad kuluvad, ei suuda pump enam tagada nõutavat kulu või rõhku ning selle tööefektiivsus langeb. Teiseks kuluvad nii pumba kui elektrimootori laagrid. Kui laagrid jätta õigeaegselt hooldamata, võib rivist välja minna kogu pump. Kõige sagedamat hooldust ja järelevalvet vajavad aga tihendid. Kui leke jääb õigeaegselt likvideerimata ja tihendid vahetamata, võib lekkekoht kuluda sedavõrd, et seda ei saa enam tihedaks ja pumba korpus (tavaliseks ka pump) vajab vahetust. Pumbad vajavad süstemaatilist hooldust ja järelevalvet vastavalt tootja soovitudele, mistõttu pumba elutsükli hoolduskulud on märkimisväärsed (joonis 1.4). Eriti kehtib see elektrijaamade surveõlitusega kõrgsurve pumpade kohta.



Joonis 1.4 Pumba elutsükli orienteeruv kulude jaotus

Pumbasüsteemide tehniliseks elueaks [7] normaalse ja õigeaegse hoolduse puhul hinnatakse **15-20 aastat**. Tuleb silmas pida, et katlamajades on sageli samaks otstarbeks mitu pumba, näiteks 2 suvist ja 2 talvist võrgupumpa, mistõttu ühe pumba operatiivne eluiga ei ületa 4500-5000 tundi aastas. Seega iga üksiku pumba kohta tuleb kalendriaastaid märksa rohkem.

### 1.5.3 Suitsuimeja

Kõik hõrenduse all töötavad katlad on varustatud ühe või kahe suitsuimejaga juhtimaks põlemisgaase katlast korstnasse. Suitsuimejad kuuluvad kindla elemendina katla ning põlemisprotsessi automaatika koosseisu, samuti nagu õhu ventilaatoridki, ning sellisena peaks nad kestma sama kaua kui katel. Eriti siis, kui nad on varustatud sagedusmuunduritega, nagu moodsatel kateldel, mis juhib nende tööd pöörete muutmisega olenevalt koormusest, mitte aga juhtaparaadiga drosseldades.

Nende tegelik eluiga sõltub paljudest asjaoludest, eelkõige kütusest ja põlemisrežiimist. Gaasikütusel on nende eluiga võrdne katla elueaga, ca 20-25a, kuna seal ei esine korrodeerivaid põlemisprodukte; väävlit sisaldaval õlikütusel 15-20a, juhul kui lahkuvate gaaside temperatuur hoitakse igal režiimil kõrgem kui 150°C. Kui sageli töötatakse madalamatel temperatuuridel, tekib nii suitsuimeja kui gaasikäikude intensiivne korrosioon ning eluiga lüheneb tunduvalt.

Biokütustel alluvad nende tiivikud lendtuha tahkete osakeste kuluvale toimele, juhul kui katel pole varustatud moodsate gaasipuhastusseadmetega (tsüklonid, tekstiil-kottfiltrid, elektrifiltrid) ega kesta enam kui **13-18a**. Kui gaasid puhastatakse tuhaosakestest puhtaks, peavad suitsuimejad vastu **20-25a**.

Põhiliseks kuluvaks/korrodeeruvaks osaks on suitsuimeja tiivik, mida on võimalik kapitaalremondi käigus samasuguse vastu välja vahetada. Pärast seda võib suitsuimeja eluiga suurendada ca 1,3-kordseks. Juhul, kui korrodeerunud on ka juhtaparaat ja korpus, vajab suitsuimeja vahetust. Suitsuimeja mootor ja ajam võivad edasi kesta, kui neid on korralikult hooldatud (õlivahetused).

### 1.5.4 Suitsugaaside pesur (kondensaator)

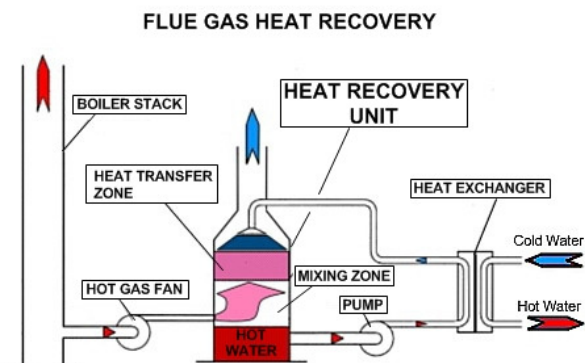
Meil on senini kasutatud katlale lisatud pesurit, läänes toodetakse katlad koos kondensoriga, nimetades neid kondenseerivaiks katlaiks (ingl. k. condensing boiler). Kondenseerivaid katlaid gaasikütel toodetakse massiliselt ka eramu, kooli, haigla tarbeks, kuid tarbijail on tekkinud lisaks poolehoiule ka tugevat vastuseisu nende kasutuseks. Nimelt seetõttu, et nad on ca 50% kallimad, peavad tunduvalt vähem (5-8a) vastu võrreldes traditsioonilise katlaga, ning nõuavad sedavõrd mahukat hooldust ja remonti, mis muudab olematuks tänu kõrgemale efektiivsusele saavutatud lisatulu.

Kuna põlemisproduktid sisaldavad materjale, mis on tugevasti korrodeerivad (kondensaat on happeline, pH 4-4,5, - põhiliselt Cl ja SO<sub>2</sub> ühendid, mis tekitavad niiskusega sool- ja väävelhapet), siis nõuab see spetsiaalseid korrosioonivastaseid (ja vahel ka kalleid) materjale, nagu roostevaba teras, keraamilised ning plastiktorud. Lisaks nii kondensor, soojusvaheti kui ka abiseadmed kondensaatori ühendamiseks, õhu ventileerimiseks jne. on kallimad tänu suurematele mõõtmetele opereerimaks madalamatel vee temperatuuridel ja väikese  $\Delta t$  juures. Suureks probleemiks on ka korstnate külmumine talvel pakasega, sest kondensorit läbinud suitsugaasid on väga niisked ning madala temperatuuriga.

Meil on senini kasutatud kateldel juurdeehitatud kondensorit. Kasutades suitsugaaside kondensaatorit on võimalik lahkuva gaaside temperatuuri viia alla kastepunkti, mille tulemusena leiab kasutamist ka veeauru aurustumisele kulunud soojushulk, mis on tunduvalt suurem, kui võimalik saadav soojushulk lihtsalt gaaside temperatuuri alandamisest. Olenevalt

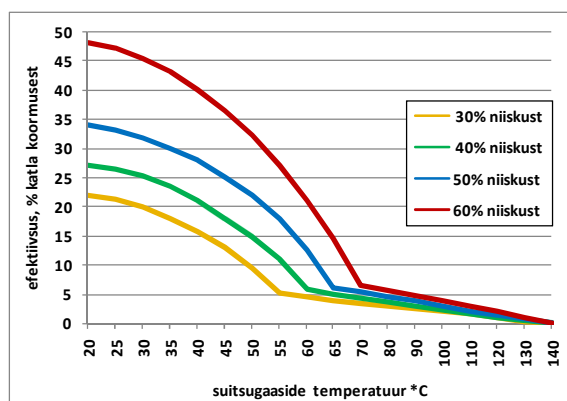
kütusest on lahkuvgaaside koostis ning selle veeauru kastepunkt erinev ning võib, erinevalt puhta vee omast, olla tunduvalt alla 100°C.

Suitsugaaside kondensaatorit ( lühidalt kondenseeriv ökonomaiser või kondensor, ka pesur eesti keeles, sest suitsugaasid „pestakse“ kondensoris massiivse duši all) on enim kasutusel ja annab suurimat efekti suure niiskusega kütuse puhul nagu niisked biokütused. Seejuures peab soojuskandja temperatuur, millele soojus üle kantakse, olema tunduvalt alla gaaside kastepunkti, et vabaneks kondensatsioonisoojus ning kondensaatori ja soojusvaheti mõõtmed (ning hind) ei läheks ülemäära suureks.



Joonis 1.5 Suitsugaaside kondensaatori põhimõtteline skeem

Meil kasutatava juurdeehitatud suitsugaaside kondensaatori (sgk) skeemilt (joonis 1.5) on näha, et võimalus on töötada nii kondensoriga kui ka ilma, kondensorigil on eraldi korsten, mis väldib suure põhikorstna külmumist talvel. Skeemil on näidatud kondensaadi ringi kinnisena, kuid kuna kondensaati tuleb pidevalt juurde, juhitakse osa sellest pidevalt eemale, neutraliseeritakse selle happeline koostis leeliste lisamisega kergelt aluseliseks (ph 7,5-8) ning juhitakse seejärel drenaaži või kasutatakse soojusvõrgu järeltoiteks.



Joonis 1.6 Suitsugaaside kondensaatori efektiivsus olenevalt puitkütuse niiskusest (kehtib suitsugaaside hapnikusisalduse  $O_2=4,5\%$  puhul). Allikas: VTT, Soome.

Jooniselt 1.6 nähtub, et tõeline efektiivsus (üle 5%) saavutatakse vaid põlemisgaaside kastepunktist allpool, st. gaasides oleva niiskuse kondensatsioonisoojuse ärakasutamisega. Selgub, et nii kondensori efektiivsus kui ka kastepunkt sõltub suuresti nii kütuse niiskusest kui ka põlemise efektiivsusest (jäähapnikust).



Kui soojuse tootjal ei õnnestu alla kastepunkti olevaid temperatuure ära kasutada, siis pole mõtet suitsugaaside kondensaatorisse investeerida. Kuna tavaliselt katelde režiimides on liigõhutegur mitte alla 1,2 (ehk 20% minimaalselt vajalikust rohkem õhku tagamaks parimat põlemist), siis peab soojusvõrgu tagastuva soojuskandja temperatuur olema alla 58°C selleks, et veeauru kondenseerimise soojust kasutama hakata. Selline temperatuur on Eestis tavaliselt suveperioodil, kui ainsaks koormuseks on sooja tarbevee koormus. Kuid suveperioodi küttekoormus on madal, nii et katel saab vaevu töötada minimaalse koormuse piiril; lisasoojust kondensori kaudu pole tegelikult võimalik kasutada. Kütteperioodi jooksul tuleb sellise režiimini jõuda tarbijate soojussõlmede õige seadistamise tulemusena.

Järelepärimisele vastas Põhjamaade juhtiv kondensorite valmistaja Rootsi firma **SRE** (Svensk Rökgasenergi AB), järgmist:

- *Kui suitsugaaside kastepunkt on ligikaudu 55°C ( $O_2$  sisalduse 4% puhul niiskes suitsugaasis), siis selle kasutamiseks peab kaugkütte tagasivoolu temperatuur olema **ca 40°C**. Väiksem  $O_2$  suitsugaasides annab kõrgema kastepunkti, nii on 2%  $O_2$  puhul kastepunkt 57°C. Ja vastupidi, kui  $O_2$  sisaldus niiskes suitsugaasis on 8% või enam (nagu enamikes DKVR katlamajades), nihkub kastepunkt madalama temperatuuri (51°C) lähedale.*
- *Edu võtmeks on soojusvõrgu kõrge  $\Delta t$  (see tagab ka madalama tagastuva temperatuuri), mistõttu selle saavutamine väärrib vaevanägemist, seda eriti hakkpuidu katla olemasolul, mille suitsugaasidega võib saavutada kondensori abiga kuni 30% lisavõimsust.*
- *Et kondensor töötaks efektiivselt, peab jahutusvee (soojusvõrgu tagasivoolu) temperatuur olema tunduvalt alla kastepunkti igal töörežiimil;*
- *Vastasel korral (kui tagasivoolu temperatuur on kastepunkti lähedal), tuleks valmistada väga suurte mõõtmetega (seega kallid) soojusvaheti, mille efektiivsus oleks siiski väike.*

### Kokkuvõte

- Ülaltoodust lähtuvalt on enamikes Eesti katlamajades vähetasuv praeguste soojusvõrgu töörežiimide puhul hakkpuidu katlale kondensorit ehitada.
- Samas tuleb igati soodustada kõikidele tarbijatele kaasaegsete soojussõlmede (ja sooja tarbevee sõlmede) juurutamist, mis võimaldaks alandada soojusvõrgu tagastuvat temperatuuri ning seejärel kaaluda uuesti kondensori juurutamist.

Korralikult hooldatud suitsugaaside kondensor võib kesta **13-17 a**. Vajadusel on võimalik tema eluiga ligi 30% suhteliselt kallite remontide abil pikendada.

### **1.5.5 Ökonomaierid**

Kõik võimsamad katlad (Eestis alates DKVR ja DE katlaist) on varustatud ökonomaieritega toitevee eelsoojenduseks, kasutamaks täielikumalt ära katlast lahkuvate gaaside jääksoojust. Ökonomaierid kuuluvad ühe elemendina katla koosseisu, nad on üheks täiendavaks küttepinnaks katlakäigus (samuti nagu õhu eelsoojendid võimsamatel EJ kateldel) ning sellisena on nad kujundatud vastu pidama sama kaua kui katlad. Kuna nad asuvad katla gaasikäigus suhteliselt madalama temperatuuriga piirkonnas, pole nad allutatud väga suurtele temperatuuri kõikumistele ja sellisena kestavad kaua, ca **20-25a**.

Ökonomaierid võivad alluda väliskorrosioonile, sest madalatel temperatuuridel võib külma toitevee torustikel tekkida kastepunkt ning happekorrosioon (olenevalt kütuse koostisest).

Tavaliselt saab ökonomaiserite eluiga pikendada, juhul kui defektid ilmnevad varem kui ülaltoodud ajavahemik. Remondi käigus vahetatakse üksikud lekkivad või korrodeerunud torud. Vahel on vahetatud ka ökonomaiserite torusid pakettide kaupa.

### 1.5.6 Põletid

Maailmas on põletite tootjaid väga palju ning erinevat tüüpi ja erineva kvaliteediga põleteid suur hulk. Seetõttu ühest hinnangut põleti elueale anda on äärmiselt raske.

Tavaliselt varustab katla tootja oma katlad põletitega ise ning sageli on need katla tootja poolt ka valmistatud. Need põletid on alati konkreetsele katlale sobivaimad.

Eestis on „Kiviõli“ katlail kasutatud Eestis „Ilmarise“ tehases omal ajal toodetud rotatsioonitüüpi õlipõleteid, DKVR ja DE kateldel olid tehast kaastulnud lihtsad õlipõletid ning hiljem sama lihtsad gaasipõletid. Tänapäeva mõistes oli tegu primitiivsete põletitega, millest olulisemana oli neil ühine puudus: nad ei võimaldanud tagada õhk/kütus optimaalset suhet erinevatel režiimidel. Praktiliselt tagasid nad vaid kütuse (õli) pihustamise, vajaliku õhuhulga pidi paika panema operaator, tavaliselt korstnast tuleva suitsu põhjal. Tegelikult nägi asi välja nii, et õhuklapp oli kõigil režiimidel pärani lahti, koormust reguleeriti ainult õli/gaasi kuluga läbi põleti. Paljudes kohtades toimub see nii tänaseni. Tulemuseks madal efektiivsus. Ka gaasipõletite puhul oli lugu sarnane; lihtsaim gaasipõleti koosnes gaasitorust, mille otsas olid gaasidüüsid ning selle ümber õhutoru, andmaks gaasileegile primaarõhku ja jahutamaks gaasitoru.

Põletite põhiline kuluv osa on tema otsik ehk düüs või pihusti (õlikütuse puhul). Vanemate põletitega on esinenud sageli põleti otsikute ülekuumenemist ja termilist lagunemist, eriti 12 põletiga PTVM katelde puhul, kus üle kuuenesid just nende põletite düüsid, mis parasjagu sellel koormusel ei töötanud.

Need põletid ei kestnud tavaliselt üle **10a**, kuid nende põletite düüse või pihusteid vahetati mitmeid kordi aastas, sest nad kulusid kiiresti abrasiivosakeste tõttu masuudis ega taganud enam normaalset pihustust.

#### Gaasi- ja vedelkütusel

Õlipõleti on ette nähtud õli põletamiseks, kus õli pihustatakse peeneks tolmuks, surudes selle surve all läbi pihusti. Õlitolm süüdatakse tavaliselt elektrisädemega, ning õhk lisatakse surve all põleti ventilaatori abil. Pihusti düüsid kulusid kiiresti ja vajavad vahetust vähemalt kord aastas. Pihustit iseloomustab õli rõhk (7baari), pihustatava õli nurk (60°) ning pihustuse kvaliteet. Õlipõleti tähtsad komponendid on veel õli pump koos rõhu regulaatoriga, elektromagnetiline klapp, õhu ventilaator, süüteseade, fotoelement leegi kontrolliks.

Gaasipõleti on mõnevõrra sarnane, kuid tal puudub pump, sest kasutab katlamaja gaasi rõhku pärast regulaatorit. Samuti puudub pihusti, selle asemel on erineva kujuga gaasidüüsid.

Õli-Gaasipõleti on kasutusel katlalis, kus sageli põletatakse mõlemat kütust, nii gaasi kui masuuti. Need põletid ühendavad endas mõlema põleti omadused. Nende põletite maksumus on tunduvalt suurem, võrreldes ühe kütuse põletitega, mistõttu nende hankimise otstarbekus tuleb hoolikalt läbi kaaluda.

Kaasaegsed põletid on konstrueeritud selliselt, et põlemisõhu kanalid on ümber (või vaheldumisi) kütuse kanalitega, mistõttu toimub nende pidev lisajahutus põlemisõhu abil. On

ka vesijahutusega põleteid. Kuid nii põleti düüsid kui ka pihustid vajavad perioodilist kontrolli ja küllalt sagedast vahetust, olenevalt kütuse kvaliteedist.

Uute lääne põletite hankimine ja sobitamine vanadele kateldele oligi esimesi asju, mida kaugkütte katlamajades pärast 1990 aastat ette võeti. Tavaliselt polnud tegu sunnitud vahetusega, sest vana põleti oli töökorras, kuid ta oli moraalselt vananenud. Uued põletid võimaldasid tagada enam-vähem õige õhk/kütus suhte igal režiimil, ja see oli suur samm edasi põlemise efektiivsuse ja automaatkatlamajade suunas.

Kaasajal, seoses karmistuvate keskkonnanõuetega, on kõigil suurematel põletusseadmetel kohustus evitada nn. „Low NOx“ põletid. Neid võib iseloomustada järgnevalt:

- Töökindlus ja tugevus;
- Kütuse täielik põlemine, minimaalne CO (vingugaasi) hulk;
- Leegi kuju saab kohandada katlaga, optimeerides soojusülekanne (radiatsiooni ja konvektsiooniga);
- NOx ja teiste emissioonide tase on alla lubatud piirnõrmi;
- Õhuventilaatori elektrooniline modulatsioon tagamaks optimaalset õhuhulka ja suurendamaks efektiivsust;
- Kerge ligipääsetavus erinevatele komponentidele;
- Koormuse modulatsioon 1:8 või isegi veel väiksem;
- Garantii vähemalt 6 aastat;
- Müratase alla 85dB täiskoormusel, lisa helisummutite kasutusel kuni 75dB;
- Kindel kütusekulu tase;
- Minimaalne kuluerinevus kui kütuse viskoossus muutub.

*Kuna lämmastiku oksiidide (NOx) heitmed on kõikjal rangelt normitud, hoiavad uued põletid leegi pika ja kuumuse ühtlaselt madalama, vältimaks põlemisõhus oleva lämmastiku oksüdeerimist lisaks kütustes olevale lämmastikule, mis teatavasti toimub kõrgetel temperatuuridel.*

Kaasaegsete põletite hinnanguline eluiga on **15-20a** (Saksa põletifirma Saacke andmeil).

#### Tahkel kütusel

Mis puutub tahkeid kütuseid, siis põleteiks võib lugeda vaid kütuse tolmpõletamise seadmeid, mis Eestis on kasutusel Narva elektriyaamade vanematel kateldel, samuti endistel Kohtla-Järve ja Ahtme elektriyaamade põlevkivi kateldel. Nende põletitega oli sageli probleeme, mõnikord avariiidki ning nad vajasisid perioodilist hooldust ning remonte nagu vanad põlevkivi katladki.

Tolmpõletamine toimub kõrgel kolde temperatuuril üle 1400°C, mistõttu praegu kehtivate suurte põletusseadmete NOx normidega see kokku ei sobi. See on üks põhjustest, miks uued renoveeritavad katlad Narva EJ on keevkihtkolletega, milles põlemistemperatuurid jäävad 700-900°C vahele, ning NOx normatiivid on täidetavad.

Moodsamail katlail kasutatakse restkoldeid, kus kütus põleb kas liikuval või liikumatul restil, kusjuures teatud liiki liikumatu restiga on tegu ka keevkiht-kolletes. Kütus antakse restile kas läbi kütusešahti koppranspordööri või tigutranspordööri (stoker) abil, mille abil reguleeritakse ka kütuse kogust, seega põlemist ja katla võimsust.

Põhimõtteliselt kestavad tahke kütuse tolmpõletid sama kaua kui katel. Kuid tahkekütuse katlail on ka nn. käivituspõletid, mis töötavad gaasi või õliga. Kuna nad leiavad suhteliselt harva kasutust, peaks nende operatiivaeg kestma sama kaua kui katlal.

### 1.5.7 Elektrisüsteemid

Elektrisüsteemid peavad töötama sama kaua kui katlamaja või elektrijaam, st. **25-30a**. Põhjus, miks mõnel pool on elektrivarustussüsteeme renoveeritud, seisneb uute ja efektiivsemate elektri jaotusseadmete kättesaadavuses, samuti lähtutakse katkematu elektrivarustuse tagamisest, suuremast töökindlusest, väiksemast hooldusvajadusest ja teistest põhjustest.

Sageli on põhjuseks see, et katlamaja või KTJ elektrivajadus on vähenenud koos soojatootmiseseadmete moderniseerimisega, mistõttu olemasolevad elektriseadmed osutusid ülemäära võimsaks, vähekoormatuks ning nende tühijooksu kulud suureks.

### 1.5.8 Suitsugaasi analüsaatorid

Teatavasti on võimsamatele põletusseadmetele kohustuslik pideva suitsugaaside monitooringu tagamine, neile ei piisa vaid kütuse koostise, kulu ja põletusviisi alusel keskkonnaheitmete suuruse arvutamisest. Kohustuslikud on NO<sub>x</sub> ja SO<sub>2</sub> mõõtjad, samuti lendtuha hulk.

Suitsugaaside analüsaatorid paigutatakse kas gaasikäiku vahetult enne korstnat või korstna torustikule. Analüsaatorid on varustatud elektrilise toitega suitsugaasi sisseimemiseks ja andmete edastamiseks, samuti filtritega gaaside puhastamiseks lendtuha (lendtuha hulka määratakse teist tüüpi analüsaatoritega, mis registreerivad gaaside läbipaistvust). Analüsaatorite andurid ja impulsstorud alluvad suitsugaasides sisalduvate heitmete mõjule, mistõttu neile mõjuvad samalaadsed tegurid mis korstna torustikele. Seetõttu vajavad nad perioodilist hoold, nagu filtrite puhastus või vahetus ja impulsstorude läbipuhumine. Analüsaatorite materjalid on korrosioonikindlad, sest on teada, millised kahjulikud mõjurid sisaldavad suitsugaasides. Analüsaatorite hinnanguline eluiga on **10-15a**.

### 1.5.9 Torustikud

Soojusseadmete torustikud on määravaks teguriks soojusseadme eluea arvutamisel. Kui torustike lubatud termiliste tsüklite arv täis saab, on see peamiseks teguriks otsuse tegemisel, kas soojusseadet tasub veel remontida ning sel teel tema eluaega pikendada, või on õigem see välja vahetada. Torustiku eluiga sõltub kasutatud materjalidest (terasest sulamid) ning töörežiimidest. Katlatehased annavad torustikele kindlad garantiid ja erinevatele parameetritele ehitatud katelseadmed kasutavad teraseid, mis reeglina kestavad sama kaua või kauem, kui muud katla põhiseadmed. Tavaliselt antakse katlaterastele elueaks 150000-200000 töötundi ehk ligikaudu **19-25 tööaastat**. Vastutusrikastele torustikele tehakse seejärel põhjalikud metalliuringud, mille tulemusena võib tööaeg lüüa kas lõppenuks või pikeneda kuni 25% võrra.

### 1.5.10 Kolde restielemendid

Tahkekütusel katelde restid lähevad enneaegselt rivist välja põhiliselt kulumise, liigse kohaliku ülekuumenemise ja termilise väsimise tõttu. Resti ülekuumenemine sõltub kütuse kvaliteedist ja niiskusest. Kui kütusekihi temperatuur pole ühtlane ja on raskesti kontrollitav, võib tekkida ülekuumenemine, resti kahjustamine või tuha sulamine klinkriks resti pinnal.

Katelde reoste on mitmeid tüüpe, mistõttu ka nende hinnatud eluiga võib olla erinev.

### Liikumatud restid

Liikumatu restiga põletussüsteem on hästi toimiv ja suhteliselt lihtne, sest puuduvad liikuvad osad, mis kuuluvad kiiremini kütuse ja tuha abrasiivsuse tõttu. Tänu sellele on väiksemad ka sellise resti summaarsed hoolduskulud.

Siia kuuluvad ka keevkihtkolde restid (kasutusel Tallinnas, Tartus ja Pärnus), mis kujutavad endast kolde siledale põhjale kinnitatud pealt kaetud primaarõhu stutse. Nende abil antakse tugeva survega põlemisõhk liivakihi ja kütusekihi alla. Ka siin toimub õhustutside kulumine liiva ja kütuse tuha pideva pulbitsemise (nn. „keemise“) tulemusena, kuid stutside vahetus on suhteliselt lihtne (va. liiva ja tuha eemaldamine) operatsioon katla hooldusseisaku ajal. Resti jahutabki resti alt õhustutsidesse antav õhk.

Lisaks on võimalik liikumatuid reoste jahutada vee abil, et vähendada liigset kuumust resti pinnal mis põhjustaks enneaegse resti või selle sektsioonide vahetuse.

Selliste restide hinnanguline eluiga on **15-20a**.

### Liikur (tõukur)-restid

Õhujahutusega tõukurrestid on ette nähtud niisketele biokütustele, tagamaks minimaalsete heitmetega põlemist. Kütus jaotatakse ühtlase kihina resti esiotsale, kust see põledes resti edasi-tagasi liikuvate astmete abil edasi suunatakse. Tõukurite abil edasikanduv kütus seguneb läbi resti pilude antava primaarõhuga, tagades efektiivse põlemise restil. Tõukurid lükkavad ka põlenud kütusest jääva tuha üle resti tagumise otsa tuhakonveierile.

Selliste restidega on varustatud enamik Eestis renoveeritud keskmise suurusega katelde (DKVR) eelkolded. Resti eluiga on orienteeruvalt **10-15a**; enamasti on resti malmsektsioonid vahetatavad ja nende valamine Eestis evitatud.

Restide eluiga lühendab kõige rohkem ebaõige (restitüübile sobimatu) kütus. Oluline on nii kütuse liik, kütteväärtus kui ka niiskuse sisaldus. Kui kindlale niiskusele (30-55%) ettenähtud restil põletada liiga kuiva kütust, võivad restielemendid deformeeruda või sulada. Sama võib juhtuda freesturba kasutamisel. Eestis on teatud sektsioone vahetatud iga 3-4 aasta järel. Oht on olemas ka siis, kui kütus pole piisavalt homogeenne. Kütusekihti tekivad sel juhul eriti kuiva kütuse kohtades pesad, kus temperatuur tõuseb resti jaoks ülemäära kõrgeks. Restkoldele on samuti ohtlik mineraalainete, liiva, savi ja kivide esinemine kütuses. On olnud juhtumeid, kus kütuses olev lubjakivi põleb restil tsemendiks, ning resti all oleva märgtuha erastuse korral kivistub tuhahoidlas betooniks. On esinenud ka juhte, kus kütuses leiduv peen liiv, liikudes järelpõlemiskatlasse, sulab ja muutub seal klaasiks. Ka kütuses leiduvate metallist detailide (vinkelraud jms) tõttu on esinenud mitmeid häireid ja kruvisöötja vigastusi.

### Liikuvad kettrestid

Liikuvaid kettreste kasutatakse võimsamate katelde puhul, näiteks kivisöe ja tükkturba põletamiseks. Sel puhul liigub kogu resti sektsioneeritud pind aeglaselt edasi ning 1. otsast pealeantav ühtlase paksusega kütusekiht liigub läbi resti antava primaarõhu koostoimel põledes edasi, kuni ta teisest otsast tuhana tuharuumi pudeneb. Eestis taolised katlad puuduvad, kuid resti hinnanguline eluiga on samuti **10-15a**. Ka selle resti malmlülid on suhteliselt kergesti vahetatavad.

### Vibreerivad ehk raputatavad restid

Need kaldrestid on efektiivsed biomassi põletamisel. Vibreeriv liikumine jaotab kütuse ühtlaselt resti pinnale, tagades parima kütus-õhk suhte ja efektiivse täieliku põlemise isegi

kõrge niiskusega ja kõrge tuhasusega kütustele. Jäik, kuumuskindlast malmist teostus võimaldab operaatoril saavutada kõrge kasuteguriga põlemise minimaalsete õhuheitmetega. Resti struktuur tagab pideva töö pikemaks ajavahemikuks ilma vajaduseta katla seiskamiseks hoolduseks või põhjalikuks resti puhastuseks. Rest on vesijahutusega, mis pikendab resti eluiga minimeerides klinkri tekkimise võimaluse restil. Nii tuhakihi paksus kui ka vibreerimise sagedus on lihtsalt seadistatav. Hoolduskulud on madalad, kuna liikuvaid osi restil on vähe. Hinnatud eluaeg on **15-18a**. Valatud malmseksioonid on vahetatavad, siis on võimalik resti eluiga pikendada kui kahjustused pole liiga suured.

### 1.5.11 Eelkolle puidu ja turba põletamiseks

Biokütuste põletamiseks rajatud eelkollete eluiga on reeglina lühem, kui soojusvahetina kasutataval katlal ning seega alandab kogu sellise katlamaja eluiga. Üldistatud kogemuse põhjal vajavad need tulekindla müüritise pisiremonti iga 5 aasta järel, ning kapitaalset remonti (so. uut müüritist) iga **8-10 aasta** tagant. Müüritis ei pea vastu siis kui kütuse kvaliteet ja niiskus varieerub liiga palju ega vasta alati nõuetele. Sageli on põhjuseks liiga kuiv kütus, mis põhjustab liiga kõrgeid temperatuure müüritise lähedal. (Inimfaktori mõju on siin samasugune kui restide puhul !!!)

Müüritise remont ja eriti vahetus on väga kulukas; lisaks nõuab see biokatla seisakut ca 1-1,5 kuud ja kallimate kütuste kasutamist sellel perioodil.

### 1.5.12 Kalorifeer

Kalorifeere reeglina küttekattlamajades ei kasutata. Õhk/vesi kalorifeere kasutatakse biokütusega koostootmisjaamades soojusvõrgu vee lisajahutuseks, võimaldamaks madala soojuskoormuse perioodil (suvel) elektri jaama tööd kõrge elektrilise koormusega. Kalorifeeri liikuvad osad, nagu tiivik ja soojusvaheti, ei puutu sel juhul kokku korrodeeriva keskkonnaga. Hinnanguliselt on nende tehniline operatiivne eluiga **10-15 aastat**. Kuna neid enamiku aastast, so. kütteperioodi jooksul pole vaja kasutada (va. seal, kus neid tuleb KTJ liiga suure soojusliku võimsuse tõttu osaliselt kasutada ka kütteperioodil), siis on nende eluiga kalendriaastates tunduvalt, ligikaudu 2 korda pikem.

### 1.5.13 Veepehmdusseadmed

Veepehmdusseadmed on vajalikud soojusvõrgu vee pehmdamiseks, et muuta vee karedust põhjustavad Ca ja Mg soolad (karbonaadid) vees lahustuvateks sooladeks, millised ei sadestu torustikele ega küttepindadele.

Veepehmdusseadmed ei tööta kõikjal Eesti kaugkütte katlamajades sugugi hästi, kuigi nende renoveerimine jätkub vastavalt majanduslikele võimalustele. Halb pehmdatud vee kvaliteet on üks põhilisi katlakivi ja sadestuste tekke põhjusi kateldes ja torustikes, mis viivad katlad enneaegselt rivist välja. Katlakivi soojusjuhtivus on sadu kordi väiksem kui puhtal metallil, mistõttu põhjustab selle tekkimine katla efektiivsuse languse, torustiku kohatise ülekuumenemise, sellega seotud lekked ning avariid. Pehmdatud vee kvaliteet nõuab igapäevast kontrolli ja pehmdusseadmed hooldust, mis on tagatud ainult meie suurimates soojusettevõtetes.

Nende seadmete eluiga on õige hoolduse puhul planeeritud kestma kogu katlamaja eluea, so. **20-25a**.

### 1.5.14 Generaator

Elektrigeneraatorid peavad reeglite põhjal kestma vähemalt **25 aastat**, so. kogu katlamaja eluea. Sama kaua peab kestma kogu turbogeneraatori komplekt, st. turbiin ja generaator. Tingimustel, et nii käit kui vajalik hooldus, seadmete pidev automaatne kontroll ning monitoring on tagatud vastavalt valmistaja tehase instruksioonidele.

### 1.5.15 Lekkedetektorid

Soojuse tootmisseadmete puhul, eriti kõrgsurve katelde puhul on lekkest tekkiv kõrgsurve auru müra nii suur, et mingit detektorit vaja pole. Madalsurve katelde puhul annab lekkest tunnistust suitsugaasides esinev rohke valge veeaur.

Lekkedetektorid kuuluvad aga ühe võimalusena kaasaegsete eelisoleeritud soojusvõrkude juurde, kusjuures nende paigaldamine on valikuline ja sõltub tellija soovist. See muudab soojustrasside rajamise veidi kallimaks, kuid võimaldab ennetada lekkekahjustusi. Valdavalt pole seda Eestis seni kasutatud, kuna eelisoleeritud soojusvõrgu töökindlust peetakse niigi väga heaks.

Lekkealarmi süsteemi põhiosa on isoleerimata vasktraat, mis paigutatakse kogu trassi ulatuses nii mineva kui tagastuva toru soojusisolatsiooni kihi sisse. Süsteem peab olema võimeline kindlaks tegema igasuguse niiskuse tekke isolatsioonikihis, seda takistuse muutumise tõttu vasktraadi ja terastoru vahel. Samuti määrama kindlaks niiskuse tekke asukohta, enne kui see muutub suureks lekkeks, mis kahjustab oluliselt torustikku ja isolatsiooni.

Lisaks kontakt-traadile kuuluvad alarmsüsteemi veel väliskilbid, kaabliühendused, katsetuskeskused ja andmete registraator. Alarmsüsteemi infot võib soojusvõrgu juhtimiskeskusele üle kanda kaugjuhtimissüsteemi abil.

Lekkedetektorid süsteem on kujundatud kestma sama kaua kui soojusvõrk, so. **40-50 aastat**. Vajadusel võib tulla operatiivselt vahetusse mõni elektroonika komponent kilpides või registraatori tarkvaras; tervet süsteemi välja vahetada ei saa.

### 1.5.16 Kaugjuhtimissüsteem ja kaugvalve

Kaugjuhtimissüsteemi puhul tuleb vahet teha kaugvalve ja kaugjuhtimise vahel.

Kaugvalve puhul registreeritakse töötava seadme (katlamaja) olulisemad parameetrid nagu soojuse toodang ja kütuse kulu, samuti võetakse vastu signaalid seadme parameetrite avariilistest kõrvalekalletest või seadme väljalülitustest, mis nõuab operaatori kohalesaatumist. Kuna katlamaja tööd kui ka kaitsete rakendusi juhib automaatika, siis pole vajadust katlamaja töösse normaalolukorras vahele segada.

Kaugvalve lihtsaim süsteem on nn „piipari“ abil. Piipar asub katlamaja juhtoperaatori taskus, kes võib samal ajal täita teisi tööülesandeid. Kui seade vajab operaatori kohalolu, annab piipar sellest märku. Selliselt töötavad enamik automatiseeritud väikekatlamaju, sh. biokütustel.

Kaugjuhtimise puhul on võimalik distantsilt (näit. arvutilt) automaatselt töötava katlamaja tööd teatud määral juhtida, muutes näiteks protsessi sisend- ja väljundsuurusi, muuta vajadusel tööparameetreid, kontrollida kütuse vastuvõttu sh. automaatkaalude näite, seadistada kütuse segu vahekorda (juhul kui mitmerajalise kütuselao puhul saabub erinevat tüüpi ja erineva niiskusega kütus). Samuti võimaldab see arvuti ekraanilt näha kõiki olulisi

tööparameetreid, tööorganite asendeid jne. See tähendab sama, mida kohapealne valveoperaator (kui see on olemas) näeb katlamaja keskjuhtimiskilbis. Kaugjuhtimisel saadav info võimaldab otsustada, kas on vajalik ka kohapeale (katlamajja, KTJ) ilmuda ja töösse sekkuda.

Kaugjuhtimissüsteemid on kujundatud kestma sama kaua kui katel (katlamaja), seega maksimaalselt **20-25 aastat**. **Kuid palju varem saabub moraalne vananemine**, sest osa vanu kontrollereid ja protsessoreid võetakse tootmisest maha, tulevad uued, ja kui midagi juhtub, on mõttekas paigaldada uusi. Kui senini kasutati telefoni- või mobiilisidet, siis uuemal ajal on side internetipõhine, jne.

Ka kaugvalve ja andmete lugemise süsteemid on läinud täiuslikumaks ja odavamaks nii, et kui vanaga tekivad probleemid, on mõttekam paigaldada kaasaegsed seadmed.

### 1.5.17 Valveseadmed

Valveseadmed on ette nähtud katlamaja (KTJ) välisvalve hõlbustamiseks. Moodsad valveseadmed koosnevad paljudest videokaamerateist, kust soojuskeskuse operaator näeb oma ekraanilt kõike, mis katlamaja ümbruses toimub. Juhul, kui territooriumil tegutsevad võõrad, saab ta sisse lülitada vastava signalisatsiooni. Samuti saab kaamerate abil jälgida järjekordse kütuseauto saabumisi, üle kaalude käimist, kaalude näite jne.

Valveseadmed on kujundatud kestma samuti sama kaua kui katel (katlamaja), seega **20-25 aastat**. **Kuid ka siin on toimimas moraalne vananemine**, nagu kauglugemisseadmete puhulgi.

### 1.5.18 Sagedusmuundur

TTÜ elektriainjamite ja jõuelektroonika instituudi andmeil säästetakse üksiku elektriainjami üleviimisel sagedusjuhtimisele kuni 70 % elektrienergiat. Pumba tootlikkuse reguleerimisel pöörlemiskiiruse muutmisega väheneb mootori võimsus ventiiliga reguleerimisega võrreldes, sest pole tarvis kulutada lisaenergiat ventiili vastusurve ületamiseks. Pump töötab minimaalselt vajaliku tõstekõrgusega ja täielikult avatud ventiiliga.

Sagedusjuhtimisega süsteemi energiasäästu arvutamiseks tuleb mõõta või määrata vedeliku tarbimise jaotus aasta lõikes. Saavutatav elektri kokkuhoid sõltub tsentrifugaalpumba QH- ja PQ-tunnusjoontest ning tegelikust vajadusest töötada nimikoormusest väiksema koormusega. Tunnusjooned madalamate koormuste kohta kujundatakse vastavate valemitega, arvestades, et:

- Tootlikkus on võrdelises sõltuvuses pöörlemiskiirusest
- Tõstekõrgus on ruutsõltuvuses pöörlemiskiirusest
- Tarbitav võimsus on kuupsõltuvuses mootori pöörlemiskiirusest

Pumbad ja ventilaatorid on alati valitud maksimaalse tootlikkuse järgi, arvestades ka tarbimise võimalikku kasvu. Ka tõstekõrgusel on tavaliselt piisav varu. Kui kiirust ja seega ka tootlikkust vähendada nt. 80 %-ni nimikiirusest, siis väljundrõhk väheneb 36 %, kuid võimsus väheneb 50 %. Kui 100 % lähedane tootlikkus esineb vaid lühiajaliselt ja keskmine tootlikkus on nt. 80 %, siis säästetakse sagedusjuhtimise korral ca 50 % energiat.



Sagedusmuundurite võimsused valitakse energiaseadmetele (pumbad, ventilaatorid, suitsuimejad), tagamaks reguleerimispiirkonna 0-100%. Sagedusmuunduriga ajam võimaldab täpsemat juhtimist ja hulgaliselt lisafunktsioone. (automaatne reservi lülitamine, pumba kuivkäigukaitse, sujuvkäivitus, distantsjuhtimine ja signalisatsioon, programme PI-regulaator jne.). Seadme tarnija vastutab ühtlasi kalibreerimise, programmeerimise ja katsetamise eest pärast paigaldust.

Kuigi sagedusmuundur pole odav, on investering üks tasuvamaid. Paljudele soojusettevõtetele tehtud tasuvusarvutustes on sagedusmuundurid kõige lühema tasuvusajaga, enamasti alla ühe aasta.

Sagedusmuundurite paigalduskoha valikul on suur tähtsus, sellest sõltub muunduri eluiga. Kilbiruumid peavad olema kuivad ja maksimaalselt tolmuvabad, kilbid, kuhu seade paigaldatakse, korralike tihenditega.

Hinnanguliselt on sagedusmuunduri operatiivne eluiga sarnane seadme (pumba) elueaga, seega **15-20 aastat**.

## **1.6 Tootmishoone, korstnad, kütuselaod, laoplatsid, mahutid, piirdeaiad jne**

Kõik nimistus toodud rajatised kestavad reeglina vähemalt sama kaua, kui kogu katlamaja eluiga, sealhulgas arvestades ka katelde võimalikku renoveerimist. Seega keskmiselt 30-40 aastat.

**Tootmishoone** eluiga võib olla neist üks pikemaid, **40-50 aastat**, juhul kui tegu on kivist või betoonist kapitaalsete ehitistega. Ning ka see pole piiriks kui soojuse tootmine selles katlamajas lõpetatakse, on võimalik tootmishoone ümber ehitada ja kohandada mõne teise tegevusala kasutuseks. Kui tootmishoone on spetsiaalselt katlamaja (elektrijaama) jaoks rajatud teraskarkassiga soojustatud kergehitus, pole see reeglina muuks otstarbes sobiv. Seetõttu võib lugeda tema elueaks katlamaja eluiga. Majandusarvutustes, kus võetakse aluseks katlamaja või elektrijaama tehnilist eluiga (näiteks 25 aastat), loetakse sealhulgas tootmishoone kulumiks mitte 100%, vaid näiteks 60-70%.

**Korstna** eluiga on neist üks lühemaid, kuid siingi sõltub kõik korstna materjalist, ehituse kvaliteedist, lahkvate suitsugaaside temperatuurist jms. Korralikult ehitatud kivi- ja betoonkorstnad võivad kesta 30-40 aastat. Metallkorstnad kestavad tavaliselt vähem, kõige vähem neist kaugkütte katlamajade tavalised teraskorstnad, mille elueaks võib hinnata **10-15a**. Põhjuseks eelkõige väliskorrosioon, kuid väävlirikka masuudi kasutamisel, kui lahkvugaaside temperatuur viiakse alla 150°C, ka intensiivne sisekorrosioon nii gaasikäikudes kui korstnas. Elektrijaamade spetsiaalsest Corten-terasest korstnad kestavad **30-40 aastat**. Sama kaua kestavad ka betoonkorstnad, millesse on teraskorstnad sisse monteeritud.

**Kütuselaod** kestavad vähemalt sama kaua kui katlamaja ca **30-40a**. Ladudest on keskkonnaohtlikumad masuudihoidla mahutid, kus võib tekkida lekkeid ja korrosiooniprobleeme. Suureks probleemiks on ka masuudimahutitest aastatega kogunenud jääkõli, vee- ja mudasegu eemaldamine.

**Laoplatside** eluiga on praktiliselt piirideta, kindlasti kestavad need sama kaua kui katlamaja eluiga, seega 30-40 aastat.

**Piirdeaiad:** Korralikust materjalist (näit. tsingitud teras või betoon) piirdeaiad võivad samuti kesta kogu katlamaja eluea.

## **1.7 Soojuse tootmisega seotud masinad ja seadmed (sh kaugjuhtimissüsteemid, traktorid, generaatorid jne)**

**Kaugjuhtimissüsteemid** soojuskeskuste juhtimiseks ja operatiivseks kontrolliks kestavad sama kaua kui katlamaja, so. **20-25a**. Võimalikud on väikesed täiendused tarkvaras ja mõningate elektroonikaseadmete väljavahetus, kuid põhiline infotöötlemise süsteem (protsessi mõõteanduritest kuni täiturorganiteni) jääb samaks.

**Traktorid**, mida kasutatakse biokütuse katlamajade avatud laoplatidel, võivad kesta 20000-25000 töötundi, arvestades mootori operatiivseid töötunde. Kuna nad töötavad maksimaalselt 2 tundi ööpäevas, teeb see ligikaudu 10000 päeva ehk ligi 30 aastat. Seega kestavad nad õige kasutuse korral vähemalt sama palju kui katlad.

**Generaatoreid** kasutatakse katlamajades, mis ette nähtud kõrgendatud nõudlusega tarbijate (haiglad, lasteasutused, tipphotellid, spetsiaalsed tootmisobjektid) soojusvarustuseks, millised ei saa lubada soojuskatkestust. Generaatorid on seadistatud automaatseks käivituseks elektrikatkestuste korral. Seetõttu kasutatakse neid äärmiselt harva. Kindlasti kestavad nad üle katlamaja eluea.

## **1.8 Asjaolude kirjeldus, mis võimaldab kapitaalremondi korral ja milliseks perioodiks (aastat/töötunnid) vastavate seadmete, masinate, hoonete ja rajatiste kasulikku (tehnilist) eluiga tõsta**

Enamik kaugküttes kasutatavaid vene päritolu maagaasi või masuuti põletavaid suuremaid veetoru katlaid on töötanud üle 100000 töötunni ning nende eluiga hakkab lõppema. Kui firma jätkab nende kasutamist, langeb katla kasutegur ning hoolduskulud kasvavad aasta-aastalt. Katelde väljavahetus on kallis ning praeguses majandussituatsioonis, kus kõikjal püütakse minna üle taastuvatele biokütustele, ka vähe perspektiivne. Kuid katelde renoveerimise abil pikeneb nende operatiivne eluiga **25-30 aastani**; vananenud tehnoloogia moderniseerimine tõstab kasutegurit ja vähendab keskkonnaheitmeid.

### **1.8.1 Biokütusele üleviidud katlad**

Tuleb arvestada, et kõikjal Eestis töötavad biokütust kasutavad katlad ning koostootmisjaamad nii kaua aastas, kui vähegi võimalik. Tavaliselt vähemalt 8000-8500 töötundi aastas, valdavalt baaskoormusel ja seda majanduslikel kaalutlustel. Nii et nende puhul võib operatiivset tehnilist eluiga võrdsustada kalendriaastaga.

Valdav enamik biokütusele üleviidud katlaist on säilitanud oma töövõime pärast renoveerimist 10-15 aasta jooksul ning sageli kauemgi.

Biokütusele üleviidud katelde vastupidavuses, arvestades nende katelde ühtlast pidevat baaskoormust, pole suuri probleeme olnud. Kuid palju varem ütlevad üles katelde ette (või alla) rajatud eelkolded. Need vajavad tulekindla müüritise pisiremonti ca iga 5 aasta järel,

ning kapitaalset remonti (so. uut müüritist) iga **8-10 aasta** tagant. Samas rütmis vajavad remonti ka eelkolde restid biokütuse põletamiseks. Eriti siis kui kütuse kvaliteet ja niiskus varieerub liiga palju ega vasta alati valmistaja sertifikaadile.

Mõlemad tööd, nii müüritis kui restid, on väga kallid ja moodustavad küllalt olulise osa biokatla maksumusest.

Eestis on olnud pidevalt probleeme ka biokütuse kvaliteediga, nagu ebaühtlase kütuse niiskusega (liiga kuiv kütus võib sulatada katla restid ja müüritist), samuti metallist võõrkehade sattumisega kütusesse, mis rikub kütuse etteande seadmed. Suurim häda on siis kui hakkpuit on segatud mulla või kividega. Mineraalosa, sealhulgas lubjakivi põleb tsemenditaoliseks massiks, mis kivistub hüdrotuha eralduse süsteemis betooniks. On juhtumeid, kus sellist betooni on käsitsi katla tuharuumist välja raiutud.

Neid asjaolusid arvestades ei saa kogu biokütuse katlamaja operatiivseks elueaks anda enam kui **16-25 aastat**, olenevalt katla kolde tüübist.

### 1.8.2 Katelde abiseadmed

Kateldega vahetult seotud abiseadmed (ventilaatorid, ökonomaiserid, pumbad) kestavad sama kaua kui katlad ning nendega pole uute katlamajade puhul probleeme olnud (AS Agrosilva andmeil).

Probleeme on esinenud biokütusele ümberehitatud vanade DKVR või DE katelde ökonomaiseritega. Need malmist ribitorudega ökonomaiserid on ette nähtud tuhavabade fossiilkütuste põletamiseks ning sellisena kestavad kaua, sest malm teatavasti on termilistele muutustele märksa vastupidavam kui teras (malmist eramaja küttekateldele pakutakse elueaks 35-50 aastat!). Biokütuste põletamise puhul kandub peenike lendtuhk ökonomaiserisse ja gaasikäikudesse, millel puuduvad puhastusluugid. Selleks, et neid puhastada, on vaja sisse lõigata puhastusluugid ja seisatada katel puhastuseks, või evitada survepuhastus (mini gaasiplahvatuste kujul) katla tööd katkestamata. Mõlemad meetodid on Eestis kasutusel.

Lihula katlamaja 1,8MW uue leek-suitsutoru katla LINKA-1800U puhul (luhaheina ja hakkpuidu põletamisega) toimub horisontaalse katla suitsutorude puhastus automaatselt töö käigus suruõhu abil, milleks avatakse suruõhu impulss-klapid paariks sekundiks iga mõne minuti järel. Sellist puhastusmeetodit kasutatakse ka teiste katlatootjate (Viesmann, Danstoker, Volund jt.) poolt.

**Masinate**, sealhulgas traktorite ja autode eluiga sõltub kõige enam nende mootori olukorrast ehk kulumisest. Seda eeldusel, et masinaid on kasutatud vastavalt hooldusjuhendeile. Diiselmootorid kestavad läbisõiduni 400-500 tuhat km, bensiinimootorid ca 35% vähem. Eeldades, et töösõite kaugkütte ettevõttes tänu valdavalt lühikestele vahemaadele ei tehta üle 20000km/aastas, peaks diiselmootorid kestma ca **20 aastat**, bensiinimootorid **13-14 aastat**. Iseasi on firmateenindusega katlamajad, kus soojusseadmeid teenindava firma autode läbisõit on tunduvalt suurem. Näiteks 50000km/a läbisõidu puhul on diiselmootori kestvus 10 ja bensiinimootoril 5-6 aastat.

Selle perioodi järel saab masina eluiga tõsta mootori kapitaalremondi abil. Korralikult remonditud mootor pikendab masina eluiga ca 25-30% võrra. Katlamajade biokütuse ladudes ei tööta traktor üle 2-3 tunni ööpäevas ning seda väga väikese kiirusega, mistõttu tema tehniline eluiga on pikem kui 20 aastat.



21	Korstnad	30-40	4-5
22	Laoplat	30-40	Piirideta
23	Õli mahuti	35-40	4-5
24	Teenindusauto (kaubik, väikebuss)	13-14a	3-4
25	Traktor	20000-25000 h	5
26	Pumbad	15-20	5
27	Sagedusmuundur	15-20	5

## 2 Hinnang soojuse jaotamisega seotud põhivarade kasuliku eluea osas

Kaugkütte soojuse jaotusseadmetest on suurima tähtsusega kaugküttevõrgud ehk soojusvõrgud. Soojusvõrkudes kaob märkimisväärne osa toodetud soojusest ilma tarbijaini jõudmata. Soojusvõrgud on ka ühed kapitalimahukamad rajatised, seda nii uute võrkude ehituse kui ka olemasolevate renoveerimise puhul. Nende asjaolude tõttu on soojusvõrkude kasulik eluiga erilise tähtsusega.

Valdav enamik Eesti kaugküttevõrke rajati Nõukogude perioodil, mil kaugküttes nähti ainuõiget linnade ja asulate soojusvarustuse võimalust. Kuna väljastatud soojushulga mõõtmine nii tootja poolt kui eriti tarbijate poolt puudus, arvestati väljastatav soojus kütuse kulu alusel ning tarbitud soojuse puhul eeldati väga väikesi, vaid 4-12% võrgukadusid. Sellise kao arvutamiseks olid loodud pikad ja keerukad valemid, mis paraku andsid liiga optimistliku tulemuse. Pärast soojusmõõtjate evitamist viimase 20 aasta jooksul selgus, et sojuskaod võrkudes moodustasid praktiliselt kõikjal 20-30% aasta keskmisena, suvel tõusid aga kaod 40-60%-ni väljastatud soojusest. Oli ka piirkondi, kus suvised kaod moodustasid kuni 80% toodetud soojusest! Selgus ka, et tänapäevaste nõuete valguses olid praktiliselt kõik soojusvõrgud suuresti üledimensioneeritud, isegi arvestades linnade ja asulate tulevast arengut.

Selliste tulemuste mõjul algas ulatuslik soojusvõrkude renoveerimine, mis võrguehituse kalliduse ning pika tasuvusaja tõttu kestab veel väga palju aastaid. Viimaste aastate suurimad renoveerimised on saanud teoks vaid EU struktuurfondide toetusel. Eesti parimates soojusvõrkudes on saavutatud keskmiseks võrgukadude tasemeks 15-16%. Seejuures on tehtud ka mitmeid vigu, mistõttu loodetud suurt võrgukadude vähenemist pole saavutatud. Üks tüüpilisem viga on rekonstrueerida soojatorustiku diameetrid vanade torude järgi. Seega jäetakse arvestamata kaasaja tarbimise iseloom, kus vooluhulgad on kordades väiksemad kui enne ja soojusülekanne saavutatakse vastavalt kordades suurema  $\Delta t$  abil. Tulemusena peaks uus soojatorustik olema igas lõigus väiksema diameetriga, - seega ka vastavalt odavam.

Teatavasti on „Eesti Energiavarustuse arengukavas 2020 aastaks“ võetud eesmärgiks viia soojusvarustuse suhtelised võrgukaod 10,8%-ni brutotoodangust (st. lähemale põhjamaade tasemele). Ja seda ka neis võrkudes, kus toimub ka suvine soojaveevarustus. Ainult küttevõrgudega võrkudes peaks soojuskadu olema veelgi madalam, mitte üle 8%. Pärast 2020.a. võib sellise taseme saavutamine muutuda nõudeks igale kaugkütte süsteemile.

Sellisele tasemele jõudmiseks ei piisa ainult torustiku väljavahetusest samade läbimõõtude alusel. Kuna tootjad, võrk ja tarbijad moodustavad ühtse süsteemi, on esmalt vajalik varustada kõik tarbijad moodsate soojussõlmedega ja minna üle aastaringselt vähemalt  $\Delta t=40-45^{\circ}\text{C}$  soojusvõrgu ja -tarbimise režiimile. Seejärel teha järgmist: arvutada soojusvõrk ümber uutele veekuludele ja rekonstrueerida see energiasäästlikumal tasemel.

Jättes mõne neist meetmeist ära, pole võimalik saavutada 10,8% võrgukadusid.

## 2.1 Betoonkünades isoleeritud torustiku ja eelisooleeritud torustiku kasulik eluiga

### 2.1.1 Betoonkünades isoleeritud torustik

Nõukogude perioodil oli üle 90% kõigist Eesti soojusvõrkudest betoonkünades maa-alune torustik, mis isoleeritud mineraalvillaga ning kaetud lamineeritud või lamineerimata tõrvapapiga. Ülejäänud võrgud olid maapealsed või õhuliinid samalaadse isolatsiooniga. Väike osa võrkudest installeeriti otse pinnasesse, nagu tänapäeva eelisooleeritud torustikudki. Kuid nende isolatsiooniks oli bituumen-perliit, mis osutus väga halvaks valikuks. Sellise torustiku tehniline eluiga ei ületanud **6-10 aastat**, mille järel vajab kogu torustik vahetust.

Nende soojusvõrkude keskmine arvestuslik eluiga peab olema vähemalt 22 aastat (vastavalt tollaegse amortisatsiooninormile), kuid osa neist vananes enneaegselt 12-15 aastaga, korrodeerus ning hakkas lekkima, vajades väljavahetust või remonti märksa varem [5], seda tingituna järgmistest põhjustest:

- vead projekteerimisel (võrgud osa aastast üle ujutatud, vaatamata drenaažide olemasolule);
- vead torude horisontaalsel või vertikaalsel paigutusel;
- vead kinnis- või liikuvtugede ehitusel;
- dreneeriv killustiku kiht künade all ebapiisav või puuduv;
- kanalikünade avad ja ühenduskohad pole küllalt tihedad;
- betoonkünade puudulik hüdroisolatsioon;
- puudulik drenaažsüsteem
- defektsed keeviliited ( torud tugede kohal läbi keevitatud );
- torude ja metalltugede ebaküllaldane või puuduv korrosiooni kaitsekiht;
- soojusisolatsioonikiht õhem projekteeritust ja selle paigaldus ebakvaliteetne;
- sadevete kanalisatsiooni puudumine või ummistumine, kevad-sügisel uputas sadevesi (vahel ka linna reovesi) soojusvõrgud; tulemuseks suured soojuskaod, isolatsiooni riknemine ja väliskorroosioon;
- kasutatud korrosioonikaitse bituumenlakk pole küllalt temperatuurikindel, üle 90°C voolab ta toru pinnalt maha;
- kontrollmõõteriistade ebapiisavus ja halb kvaliteet;
- soojusvõrkude korrashoiu ja tehnohoolduse madal tase;
- võrguvee ettevalmistuse tase ei vasta normidele, tulemuseks sisekorrosioon;



Joonis 2.1 Ligi 50 a vanune maapealne soojusvõrk väikeasulas

Need valdavalt ehituslikud puudused põhjustasid torustike intensiivse (enamasti välise) korrosiooni. Uuringud näitasid, et 85% üle 15 aastastest torustikest omas väliskorrosiooni defekte. Seal, kus võrguvee kvaliteet oli halb (teatud perioodil ka Tallinnas), täheldati ka sisekorrosiooni. Vähemalt sama vilets olukord valitseb ka maapealsete soojusvõrkudes (joonis 2.1).

Soojusvõrgu kaod ületasid tunduvalt arvutuslikku, 4-12%. Ka lekkekaod olid tollal suured. Näiteks Tartus vahetus trassi veemaht 22-45 korda aastas, Tallinnas Mustamäel 20023 m<sup>3</sup> veemaht 29-51 korda aastas, samas kui põhjamaade soojusvõrkudes oli see 1-3 korda. Suuremad lekkekohtade allikad olid ebatihedad nihkekompensaatorid, samuti kinnistugede juures.

Selleks, et tagada enam-vähem normaalne torustiku keskmine vanus, vajas ca 4-5% torustikest iga-aastast väljavahetust. Seda pole suudetud senini saavutada, põhjuseks liiga suured kulutused.

Suviste seisakute ajal suudeti teha vaid hädavajalik: - vahetada välja lekkekohad või kõige ohtlikumad üleujutatud torulõigud. Valdavalt tehti need parandused juba kaasaegsete eelisoleeritud torudega, mille operatiivne eluiga on ligikaudu 2 korda pikem. Selle tulemusena on soojusvõrkude olukord tunduvalt paranenud ning aasta keskmised soojuskaod langenud Eesti parimates võrkudes 15-16% tasemele. Eelisoleeritud torustiku osakaal on neis soojusvõrkudes tõusnud kohati 50%-ni.

Samas on Eestis veel palju 100% betoonkünades isoleeritud torustikuga soojusvõrke, mille vanus on jõudnud 40-50 aastani. Tänu teostatud hädapärastele remontidele, on kõige kahjustatumad torulõigud tehniliselt toimivad, kuid need võrgud on moraalselt vananenud ega täida juba ammu plaanitud soojuskadude normatiive.

Kokkuvõttes võib betoonkünades isoleeritud torustikuga soojusvõrkude tehniliseks elueaks lugeda **15-25 aastat**.

### 2.1.2 Eelisoleeritud torustik

Enamlevinud kaugkütte torustiku tüüp viimase 25a jooksul on olnud eelisoleeritud torustikud, mis kujutavad endast terastorusid, mis on isoleeritud polüuretaanist vahukihiga ja pealt kaetud polüetüleenist kattetoruga. Kogu torustik on maa-alune, mingid maapealsed konstruktsioonid (näiteks kinnistoad) pole vajalikud. Minimaalne paigutussügavus on 60cm (kaksiktoru puhul 45cm). Installatsioon teostatakse kasutades looduslikku kompensatsiooni (paisumislooked) ja soojusega eelpingestamise tehnikat, seetõttu pole spetsiaalsed paisumiskompensaatorid vajalikud. Tänu sellele on kogu soojusvõrk lihtsama ehitusega ning torustiku paigaldamine kiirem, paindlikum ja seetõttu soodsam.

Tänapäeval rajatakse praktiliselt kõik uued soojusvõrgud seda tüüpi torustikest, millel on senikasutatutega võrreldes mitmed eelised:

- Eelisoleeritud torud omavad kõrge kvaliteediga tehaseisolatsiooni väga madala soojusjuhtivusteguriga, on kaetud tugeva veekindla plastikkattega, mistõttu võib sellist torustikku paigaldada ka ilma sadevete kanalisatsioonita piirkondadesse.



- Torud paigaldatakse otse muldesse ilma kanaliteta; valmis torulõigud saavad eelsoojenduse (70-80°C) ning kaetakse mullaga eelsoojendatud olekus, mis annab neile eelpinge ja kompenseerib paremini tööolukorras tekkivaid termilisi pingeid.
- Torulõigud ei vaja üldreeglina kompensaatoreid termiliste pingete maandamiseks, kompenseerimine toimub muldkehas hõõrdejõudude abil. Kaasaegsed lõõtskompensaatorid on vajalikud vaid kinnistugedega jaotuskaevude ja sisseviikude juures.
- Torustik ja kõik ühendusdetailid omavad väga hea soojusisolatsiooni ning eeldatavalt vähemalt 50 aasta pikkuse eluea. (Eestis pole veel nii vanu eelisoleeritud torudest soojusvõrke).
- Torustike paigaldamisel on vajalik võtta arvestuslikuks temperatuuride diferentsiks  $\Delta t = 45^\circ\text{C}$ , mis eeldab ka kaasaegsete soojussõlmede installeerimist tarbijatele.
- Olenevalt soojusisolatsiooni paksusest torudel jaotuvad torud 3 erinevasse isolatsiooni- ja hinnaklassi; igal klassil on eelmisest ca 20% erinevad soojuskaod ning ca 15-20% erinev hind. Mida paksem isolatsioonikiht, seda kallimad on torud. Projektis on valitud keskmise hinna- ja isolatsiooniklassiga torud.
- Vajaliku armatuuri, kompensaatorite ja haruühenduste hulga määrab konkreetne projekt.
- Uute haruühenduste vajalikkuse puhul olemasolevast torustikust saab seda teha uue puurimiseadme abil ilma põhitorustiku opereerimist katkestamata. See lihtsustab paigaldustöid tunduvalt ja muudab soojusvõrgu laienemise paindlikumaks.
- Sõltuvalt trassile jäävate teiste linna kommunikatsioonide arvust ja asfalteerimistöde mahust võib paigaldustööde maksumus olla 25-50% torustiku ja armatuuri summaarsest maksumusest.

**Näide.** Täienduseks eelnevale esitame ülevaate erineva isolatsiooni- ja hinnaklassiga torude soojuskadudest

Eelisoleeritud 200 mm läbimõõduga torus temperatuuride: pealevoolutorus 100 °C ja tagastavas 40 °C ( st.  $\Delta t = 60^\circ\text{C}$ ) puhul on soojuskaod:

1. klassi torustikel (standard)	57W/jm (watti jooksva meetri trassi kohta)
2. klassi torustikel ( + )	45W/jm
3. klassi torustikel ( + + )	37W/jm

Vastavalt soojuskadudele erinevad ka hinnad. Kõige kallimad on madalaimate soojuskadudega 3. klassi torustikud. Põhjamaades (sh. Soomes) kasutatakse valdavalt ++ torustikke.

#### Aastased soojuskaod

Aastased soojuskaod võrkudes on **5-20%** sõltuvalt soojusvõrgu vanusest, läbimõõtudest ja struktuurist. Moodsa kaugküttesüsteemi keskmised aastakaod on **8-10%**, seega ca 2 korda väiksemad kui Eestis betoonkünadesse rajatud senistel soojusvõrkudel.

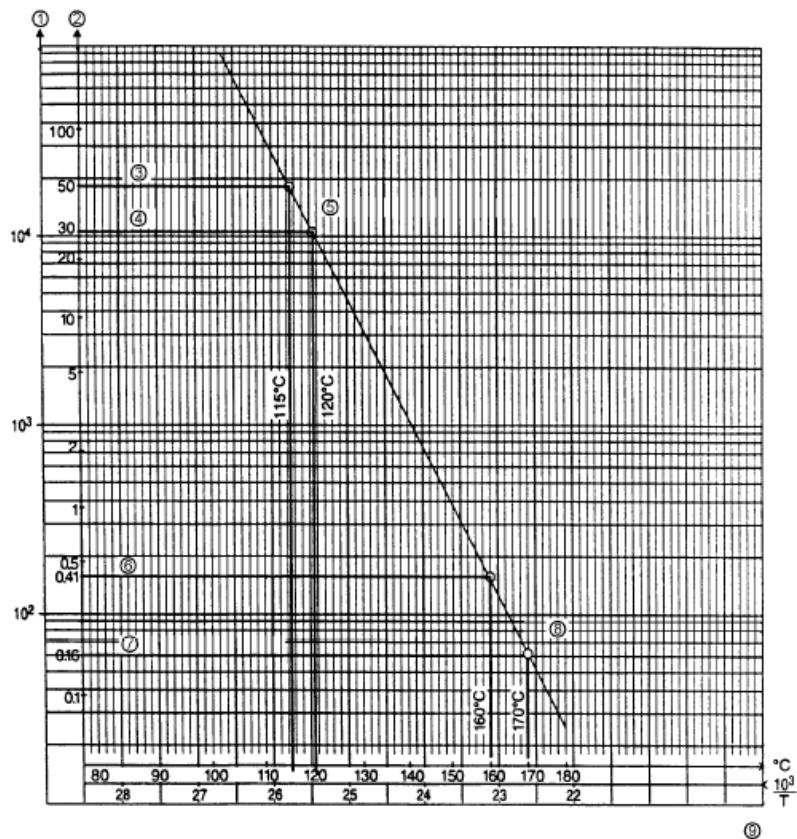
#### Eelisoleeritud torustiku eluiga

Torustiku eluiga on määratud ja arvatav EN standardiga 253 [15], samuti on vastupidavust uuritud pikaajaliste katsetega [16]. Pinged ja deformatsiooni tingimused torustikus sõltuvad käitamise tingimustest, temperatuuridest ja rõhust, torustiku paigaldamise tehnoloogiast,

samuti torustikke ümbritseva maapinna tingimustest (tihedusest). Kogu tehnoloogia vastupidavuse võtmeküsimus on soojusisolatsioonimaterjali PUR (polüuretaan) vastupidavus temperatuuridele ja nihkepingetele.

Vastupidavus temperatuuri muutustele

Euroopa standard EN 253 nõuab eelisoleeritud torustiku elueaks vähemalt **30 aastat**, juhul kui pidev temperatuur torustikus on 120 °C. Kui temperatuurid on alla 95°C, siis on eluiga **piiramata** (vt. joonis 2.2).



Joonis 2.2 Torustiku eluiga L sõltuvalt pidevast töötemperatuurist (EN 253)

Märkide seletus:

- |                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1 Oodatav termiline eluiga L, päevi   | 6. 3600 h                      |
| 2. Oodatav termiline eluiga L, aastad | 7. 1450 h                      |
| 3. 50 aastat                          | 8. Vananemise testi tingimused |
| 4. 30 aastat                          | 9. Pidev töötemperatuur        |
| 5. Tegelikud töötingimused            |                                |

Kolme katseseeria kestel [16] oli temperatuur minevas torus kuue kuu jooksul 100-115 °C. Eeldades, et ülejäänud aastal on temperatuur 100 °C, saaksime torustiku kogu elueaks **75aastat**, seega vastavaks EN 253 standardile. 75 aastat ei tähenda, et torustikul selle aja kestel remonte ei esine; see tähendab vaid et PUR (polüuretaan) isolatsioonmaterjalid säilitavad eeldatavasti oma tugevusomadused selle aja jooksul. Soojusvõrgu planeerimisel on oluline, kui palju termilisi koormustsükleid on 30 aasta jooksul eeldatud (töötemperatuurist kuni maapinna temperatuurini ja vastupidi), kui arvutatakse torustiku termilist väsimist. On tähtis, et igapäevase töö puhul oleks koormustsükleid eeldatust vähem kui planeeritud, selleks et PUR materjali termilise vastupidavuse omadused saaks täielikult kasutatud.

## Survetugevus

Torustiku survetugevus termilise pikenemise/lühenemise puhul on teine oluline näitaja ning sõltub samuti isolatsioonimaterjali vastupidavusest. Katsed näitasid, et pideva 140 °C töötemperatuuri puhul PUR soojusisolatsiooni survetugevus algse tihedusega 75kg/m<sup>3</sup> langes 0-tiheduseni ca 15 töökuu jooksul. 125 °C temperatuuril säilitas soojusisolatsioon oma algse survetugevuse 2 aasta jooksul. Survetugevuse säilimine on eriti oluline torustike suuna muutumisel; survetugevuse piirid asetavad piirid ka torustiku paigutuse sügavusele ja maapinna (täiteaine) tihedusele torustiku ümber, selleks, et maapinna surve torustikule poleks liiga suur, kui torud nihkuvad horisontaalselt.

## Olukord põhjamaades ja Eestis

Põhjamaade tüüpilisteks kaugkütte soojuse ülekande parameetriteks on 130°C, 16 baari. Primaartorustikud on dimensioneeritud 120-100°C ja tagastuvad 70-50°C. Seejuures on 120-130°C vajalik vaid kõige külmematel talvapäevadel.

Eesti võrkudes võib leida ülaltoodud parameetreid vaid Tallinna ühendatud soojusvõrgus, kuid sealgi töötatakse enamast aastast primaartorustikus vastavalt välistemperatuurile, st. alla 100°C. Mujal töötatakse enamasti märksa madalamate parameetritega, näiteks minevas (primaar) liinis 8 baari ja max 100°C.

Arvestades meie tööparameetreid, eeltoodud standardit ja katsetusi, saab meie tingimustes eelisoleeritud torustike elueaks hinnata vähemalt **40-50 aastat**. Kui meie torustikud nii kaua ei kesta, on ilmselt tegu vigadega projektis ning ehituskvaliteedis.

Eestis veel nii vanu eelisoleeritud torustikke ei ole.

## 2.2 Erinevate tootjate poolt valmistatud erinevatest materjalidest torude eluiga

Erinevate tootjate valmistatud eelisoleeritud torude eluea erinevused pole suured, sest tehnoloogia on sama ja valmistamise materjalid kõigile tuntud. Kõik torud valmistatakse terasest, nende väliskest polüetüleenist ning kesta ja toru vahelisse ruumi pressitakse polüuretaanist (PUR) isoleeriv vaht, mis kivistudes seob terastoru ja väliskesta üheks tugevaks tervikuks. Seda (eriti) ka siis kui terastoru on mõnevõrra roostes. Seetõttu peaks erinevate tootjate poolt tarnitud torudest rajatud küttevõrkude tehniline eluiga olema sarnane.

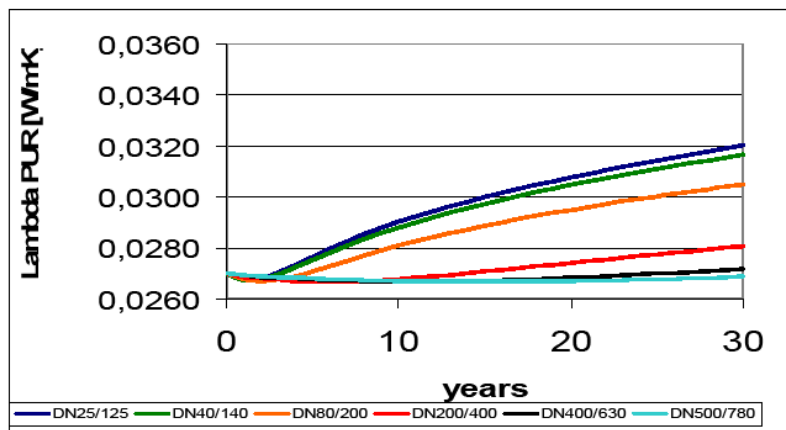
Kuid torustiku valmistamise ja paigaldamise kvaliteet omab suurt tähtsust. Tagamaks kõrget kvaliteedi taset Euroopa kaugküttes on Euroopa Kaugkütte Torustiku Tootjate Ühing (EuHP) koostanud EN standardid (kaugküttetorustike kvaliteedi standardid), mis hõlmavad mitte ainult toodangut vaid ka katsetust, paigaldust, treeningut ja dokumentatsiooni. EN standardid EN 253, 448, 14419, EN 15698-1 ja EN 15632-2 baseeruvad vastavatel ISO ning DIN standardeil, mis katavad praktiliselt kaugküttesüsteemi kõiki aspekte. Neist standarditest on kõik torustike tootjad kohustatud kinni pidama.

Lisaks kutsub „Euroheat and Power“ (EHP) kõiki tootjaid end sertifitseerima, mis annab kindluse nii tootjale kui tellijale. EHP sertifikaat oleks kaugkütte firmade poolt nõutav ühe osana pakkumiskutse dokumentidest. Pakkumistes, mis on reguleeritud Avaliku Pakkumise Direktiiviga 2004/17/EC peaks EHP sertifikaat või ekvivalentne 3. osapoole sertifikaat/kinnitus olema nõutav. EHP sertifikaat on komplitseeritud mitmeosaline dokument, mille omistamiseks peab nii tootja vastama nõuetele, kui ka tema tooted ja kogu tootmisprotsess olema perioodiliselt katsetatud ja kontrollitud.

Torude pakkumiste hindamisel ja valikul tuleb võrrelda pigem soojuse erijuhtivust  $\lambda$  ja selle muutumist ajas, mis määrab kokkuvõttes soojuskaod. Samuti gaaside, eriti CO<sub>2</sub> emissiooni, ühendusdetailide kvaliteeti, montaaži ja teeninduse lihtsust. Kõik need näitajad viiakse rahalisse vormi kindla ajaperioodi (näit. 30a kestel) ning tasuvusarvutustes võrreldakse erinevate tootjate pakutud maksumustega. Siis selgub, millist tootjat eelistada.

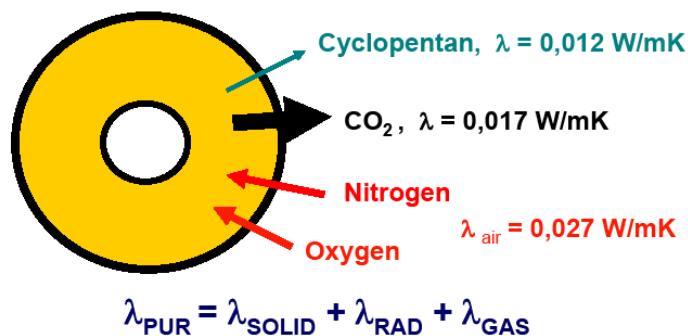
Eestis soojusvõrkude ehituse firmad on tavaliselt seotud mõne kindla tarnijaga, mistõttu tuleks võrrelda erinevaid pakkumisi just torustike ja ühendusdetailide osas eraldi, ja installeerimist ehk tööd eraldi.

Mitmed tootjad on oma torustike täiustamisel teinud tugevasti uurimistööd. Taani Logstor katsetustel on kindlaks tehtud torustiku soojust isoleerivate omaduste halvenemist (ehk soojusjuhtivuse  $\lambda$  tõusu) tööaastate jooksul (joonis 2.2). Põhjuseks on eriti madala soojusjuhtimisteguriga CO<sub>2</sub> ja Cyclopentaani lendumine läbi välise polüetüleenkesta ning suurema soojusjuhtivusega lämmastiku ja hapniku sissetung (joonis 2.3). Seetõttu on Logstar asunud tootma kaitsekilega torusid, milles õhuke alumiiniumist kiht asub vahetult polüetüleenkesta all (joonis 2.4). See väldib nimetatud gaaside difusiooni ja infiltratsiooni, mistõttu soojust isoleerivad omadused aastate jooksul säilivad. Selline torustik vähendab pikaajaseid soojuskadusid võrreldes tavalisega 5-10%. Tasuvusarvutus peaks näitama, kas see kompenseerib kaitsekilega torustiku kallima hinna.



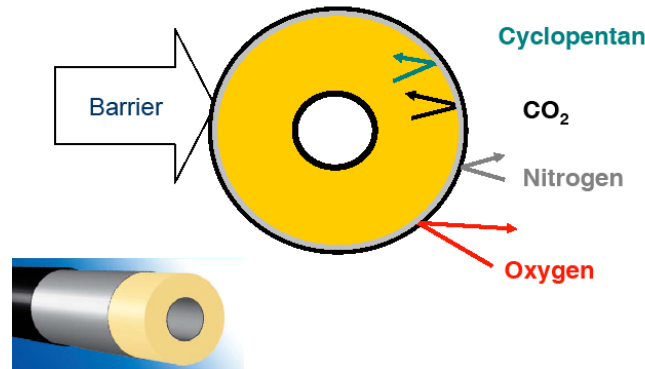
Joonis 2.3 Firma Logstor eelisoleeritud torude soojusjuhtivuse sõltuvus aastatest

Jooniselt näeme, et mida peenem torustik, seda rohkem selle isolatsiooni soojusjuhtivus (st. soojuskadu) tööaastatega suureneb.



Joonis 2.4 Gaaside difusioon ja mõju soojusjuhtivusele (Logstor, tavaline toru)

Uuringud näitavad, et ka 6-15mm paksune polüetüleenkiht ei ole mõnele gaasile sugugi läbitungimatu. Üks leduvaist gaasidest on cyclopentaan, mida kasutatakse polüuretaani vedeldajana ja agendina endise freooni sisaldava gaasi CFC asemel, mille kasutamine keelustati 1993.a. keskkonnanõuete tõttu.



Joonis 2.5 Gaaside difusioon ja mõju soojusjuhtivusele (Logstor, Alumiinium barjääriga toru)

Jooniselt 2.5 näeme, et õhuke alumiiniumkiht polüetüleenitoru all takistab gaaside emissiooni ja sissetungimist efektiivselt.

Euroopas kasutatakse reeglina eelisoleeritud torustikke, mille tootjad omavad Euroheat and Power sertifikaadi:

Logstor (Taani), Logstor Opti, ZPUM (Poola), Powerpipe (Rootsi), Isoplus (Austria), Wehotherm (Soome, KWh), Uponor (Soome), ZPU KJ (Poola), Isoplus-EOP (Tsehhi), Set Pipes GmbH (Saksa), SIA Poliurs (Läti), Perma-Pipe (Araabia Ühendemiraadid), Germanpipe ja Premat (Saksa), Wehotherm (Tsehhi KWh), ISO-Arvo (Soome), IPS Putki Oy (Soome), Arvo Putki OY (Soome), Ecoline (Itaalia), Inpal Energie (Prantsusmaa), Wannitube (Prantsusmaa).

Torustikke on uuritud madalatemperatuuriliste pingete tsüklite mõju kohta Taanis, Saksamaal, Koreas, Hollandis ja Rootsis, kus 17 kaugküttevõrgus uuriti minevate ja tagastuvate torustike termilisi pingetsükleid, kus andmeloggerid fikseerisid kokku 5000 päeva jooksul 7,6 miljonit mõõtetulemust. Katsetused näitasid, et täielike temperatuuritsüklite suurim arv esines hooneühenduste juures, kuni 2500 tsüklit vaatlusperioodi jooksul (jämedas peamagistraalis samal ajal kuni 500), mistõttu termilise väsimise ohtlikemad kohad on tarbija ühendid. Kuigi lõplikke järeldusi veel teha ei saanud, näitas katseseeria, et suure  $\Delta t$  – ga tsüklid on palju ohtlikumad kui hulga väikeste  $\Delta t$ -ga tsüklid. Ehk mõnel pool Eestiski levinud komme, et sooja tarbevett suvel antakse vaid mõne päeva jooksul nädalas, mis on soojusvõrgule palju suuremaks katsumuseks (lisaks soojakadudele), kui igapäevane veetemperatuuri mõningane alanemine (näiteks öösiti).

Eelisoleeritud torustike elueaks meie tingimustes on hinnatud **40-50 aastat**. Võrdlusandmed erinevate tootjate torustike elueast puuduvad. (Kui keegi need esitaks, oleks tõenäoline järgnev kohtuvaidlus teiste firmade poolt).

Torustike eluiga mõjutavaks faktoriks on tavaliselt vead projekteerimisel ja ehitusel (nt eelpingestamata jätmine), mis võib torustikud rivist välja viia. Samuti on esinenud lekkeid torude ja haruliinide ühenduskohtades, mis pole küllalt korrektselt isoleeritud. Aja jooksul on

meie ehitajad kui ka küttefirmade spetsialistid jätkuvalt koolitust ja kogemusi saanud, mistõttu vigu esineb vähem kui algperioodil.

### **2.3 Pumbajaamade, boilerjaamade ja muude põhivaraks klassifitseerivate abiseadmete eluiga**

Suurim pumbajaam Eestis on Tallinna Laagna pumbajaam, mis on rajatud 2000.a. ja töötab juba 12 aastat. Automaatne mehitemata Laagna pumbajaam on ette nähtud IRU EJ ja nüüd ka Vao EJ soojuse ülekandeks Lasnamäelt Kesklinna ja edasi ka Mustamäele. Samuti on võimalik vastassuunaline toime – Kesklinna Ülemiste reservkatlamaja (nüüd ka Mustamäe ja Kadaka) kaudu Lasnamäe varustuseks, juhul kui elektrijaamad on remondis või hoolduses.

Ligi 2 miljonit eurot maksnud pumbajaamas on installeeritud  $6 \times 33 \text{ MW} = 198 \text{ MW}$  võimsusega vesi/vesi soojusvahetid (boilerid) ning  $2 \times 2000 \text{ m}^3/\text{h}$  sagedusmuunduri kaudu juhitavad tsirkulatsioonpumbad. Lisaks on installeeritud täiendav veepehmenussüsteem, parandamaks kaugkütteevee kvaliteeti vajaduse korral.

Nüüdseks vajab Laagna pumbajaama võimsus täiendamist, eriti pärast Lasnamäe-Kesklinn soojusvõrgu renoveerimist/laiendamist ja Kesklinn-Mustamäe soojusvõrgu rajamist.

Hinnanguline boilerjaama operatiivne eluiga on **15-18a**. Siin tuleb arvestada, et kõigi seadmete täisvõimsusel töö toimub vaid talvel tippkoormuste perioodil, mistõttu seadmed on keskmiselt (arvestades ka suve) koormatud ca 50%. Seega 15a operatiivne eluiga tähendab ca 30 kalendriaastat.

Soojusvarustus Lasnamäe linnaosas baseerub senini suures osas tsentraalsetel boilerjaamadel, millest igaüks on ette nähtud kindla hoonetegrupi soojusvarustuseks. Samal ajal jätkub moodsate soojussõlmede installeerimine korruselamutes. Need boilerjaamad koos pumpadega on töötanud keskmiselt **25a ja rohkem**. Boilerite (soojusvahetite) uuendamise ja remondi korral võib nende töö jätkuda veel vähemalt 30% võrra enam. On alust arvata, et selleks ajaks on kogu linnaosa elamud üle läinud elamusisestele soojussõlmedele.

### **2.4 Asjaolude kirjeldus, mis võimaldab kapitaalremondi korral ja milliseks perioodiks (aastat/töötunnid) vastavate torustike, rajatiste või seadmete kasulikku (tehnilist) eluiga tõsta**

Soojuse jaotussüsteemide puhul võime rääkida olemasolevatest betoonkünadesse rajatud kaugküttevõrkudest, mille NL aegne normatiivne **22a**. eluiga on tublisti pikenenud seoses torustike remontide ja väljavahetustega. Nüüdseks on suur osa soojusvõrgu kõige tundlikemaist (suurimate ja sagedasemate lekete ja avariidega) lõikudest välja vahetatud, enamasti eelisoleeritud torustikuga, mistõttu põhiosa betoonkünades asuvatest kaugküttevõrkudest on nüüdseks vanusega 30-40a. Pole põhjust, miks korralikult ehitatud ja üleujutamata betoonkünades soojusvõrgud ei peaks tehniliselt veelgi kauem vastu.

Iseasi on nende võrkude moraalne vananemine, nimelt ca **2 korda** suuremad soojuskaod, võrreldes eelisoleeritud torustikuga. Kuid sel põhjusel soojusvõrkude renoveerimist pole siiski

majanduslikult otstarbekas teha kõrge hinna ja liiga pika tasuvusaja tõttu. Ainsana on seda mingil määral tehtud EL abiprogrammide toetusel.

Eelisooleeritud torustikud Eestis pole veel oodatavat eluiga saavutanud, mistõttu nende renoveerimise kogemused puuduvad. Kui neid on tehtud, siis kohtades, kus ehitaja või projekterija vigade tõttu on esinenud üksikuid lekkeid.

Mis puutub boilerjaamu ja pumbajaamu, siis nende eluiga on võimalik remontide abil jätkuvalt ca 30% võrra pikendada, näiteks üksikute avariiliste boilerite või pumpade väljavahetuste abil.

## 2.5 Kasulik (tehniline) eluiga aastates (vajadusel töötunnid);

Soojuse jaotusseadmete puhul on rajatiste (näit. soojusvõrk) puhul arvestatud kalendriaastatega, sest reeglina on nad kasutuses aastaringi; opereerivate seadmete puhul on hinnatud operatiivset eluaega aastates.

Tabel 2-1 Soojuse jaotusseadmete hinnatud tehniline eluiga

Jrk.nr	Seade	Kasulik eluiga, a.	Eluea pikenemine remontide abil, a
28	Kaugküttetorustik:		
28.1	Eelisooleeritud	40-50	10-20
28.2	Betoonkünades isoleeritud torustik	15-25	10-20
29	Pumbad	15-20	5
30	Ventiilid (3D ventiilid ajamiga; liblikventiilid)	13-20	5

## 3 Hinnang soojuse müügiiga seotud põhivarade eluea osas

Vahetult soojuse müügiiga seotud põhivaraks tuleks lugeda katlamaja ja tarbijate soojusmõõtjaid. Ühed mõõdavad võrku antud soojuse koguseid ning teised tarbijaini jõudnud soojuse koguseid. Kui kõik tarbijad on mõõtjatega varustatud, on lihtne määrata soojusvõrgus kaduma läinud soojushulka.

### 3.1 Soojussõlmed

Tegelikult tarbija juures omavad suuremat osakaalu hoopis soojuse reguleerimisega seotud seadmed ehk soojussõlmed, millede ülesanne on tagada igal ajahetkel tarbija vajadustele vajalik küttesoojus ja soe tarbevesi. Soojusmõõtjad kuuluvad tavaliselt sellise soojussõlme juurde. Ka soojussõlmi saab jagada kaheks, küttesõlmeks ja soojavee sõlmeks olenevalt sellest, kas tarbijale on tagatud ainult küttesoojus või ka sooja tarbevee varustus. Suuremates Eesti linnades on tagatud kaugkütte abil mõlemad, nii küte kui ka soe tarbevesi, mistõttu alljärgnevalt on juttu valdavalt soojussõlmest kui üldmõistest. Selline soojussõlm sisaldab tavaliselt kahte mõõtjat: küttesoojuse mõõtja ja sooja tarbevee mõõtja. See on vajalik õiglasema arvelduse pidamiseks tarbijatega.

Nii et küsimuse võiks püstitada nii: Kui kaua kestab kaasaegsete soojussõlmede (soojussõlmede ja soojaveesõlmede) tehniline eluiga? Tingimusel, et seda ekspluateeritakse vastavalt tehase instruksioonidele. Ja millised seadmed langevad rivist välja kõige enne? On need soojusvahetid, pumbad või automaatika?

Teatavasti olid alles 15-17 aastat tagasi kasutusel nõukogudeaegsed soojussõlmed, ning paljudes kohtades on need kas tervenisti või osaliselt kasutusel senini. Need soojussõlmed omavad rida olulisi puudusi, mistõttu nii normaalse toasooja tagamine kui ka sooja tarbevee varustus pole alati igal aastaajal tagatud. Üks olulisemaid puudusi on selles, et soojematel küttesõlmede kuudel kevadel ja sügisel, tagamaks normaalne soojavee varustus, tuleb hooneid süstemaatiliselt üle kütta. Ebapiisava vee ettevalmistuse tõttu ja kuna soojavee temperatuuriregulaatorid puuduvad või pole töökorras, tekib pea kõikjal probleeme soojusvahetite korrosiooni, katlakivi tekke ja lekkimistega. Sageli esinevad lekked soojaveeboilerite sees, mille tulemusel veevärgi toorvesi satub soojusvõrgu vette, rikkudes selle kvaliteeti. Eriti ohtlik on see kateldele katlamajades, kus katlaist käib otse läbi soojusvõrgu vesi.

Seega kaasaegsete soojussõlmede paigaldamine tarbijate juurde oli oluliseks tehniliseks meetmeks kogu süsteemi töö parandamiseks. Samuti energia kokkuhoiu abinõuks, mis üheainsa meetmena võimaldas kogemuslikult 12-15% soojussäästu.

Eesti esimesele katseelamule (Rootsi-Eesti 2-aastase koostööprojekti kaudu) Mustamäel Sütiste tee 16 paigaldati 1992 a. oktoobris Alfa Laval Industri AB plaatsoojusvahetitega soojussõlm. Filtrid ja sulgventiilid olid toodetud Armaturjonsson AB poolt. See soojussõlm vahetati täielikult välja 2010.a. Põhjuseks suuresti see, et eelmise põlvkonna automaatikat ning analoogseid soojusvaheteid enam ei toodeta. Nii et ca **17 aastat** oli selle soojussõlme kasulik eluiga.



Katsemaja kogemuste põhjal alustati Eestis massilist soojussõlmede väljavahetust 1995.a. Tallinnas, kus EBRD laenu abil paigaldati Mustamäe elamuile 62 ja Õismäe linnaosa hoonetele 232 soojussõlme. Laenu II paketiga paigaldati Kesklinna 32 soojussõlme. Edasi järgnes soojussõlmede paigaldus 1996.a. Maailmapanga laenu abil Mustamäele, hiljem ka Lillekülla, Kopliasse, samuti teistesse Eesti suurematesse linnadesse.

Esiialgu paigaldati esimese pakkumiskonkursi võitnud Cetethermi soojussõlmed, hilisematel aastatel teiste firmade ja paigaldajate nagu Ecoterm, Danfoss, Ecopoint, Termotehnika, Ecomatic omad, viimast koostatakse ka Eestis (Kose Ristil).

Soojusvahetid on üldreeglina kokkujoodetud plaatsoojusvahetid, mida lahti võtta ega remontida ei saa. Soojusvahetuspind on valmistatud happekindlast (roostevabast) terasest, mis kindlustab nende pika eluea ega vaja mingit hooldust. Vajadusel saab neid süsteemist lihtsalt lahti ühendada ja asendada uuega. Komplektne soojussõlm on varustatud kogu vajaliku seadmestikuga küttesoojuse ja sooja tarbevee varustuseks, sh. tsirkulatsioonipumbad ja paisupaak radiaatorsüsteemile vajaduse korral.

Paigaldamise algusest möödunud **16-17 aastaga** pole ca 800 paigaldatud soojussõlmest (mille kohta on ülevaade), täielikult välja vahetatud ühtki (AS Ecomatic info). Küll on aga välja vahetatud soojussõlmede soojusvaheteid kui ka eelmise põlvkonna automaatikat.

#### ***Põhilised selgunud puudused soojussõlmedes***

- Lõpeb tarbevee 3D ajami eluiga, sest ta liigub peaaegu pidevalt. Rahuldavalt on nad töötanud ca 13 aastat.
- Välja on vahetatud rida soojusvaheteid ja seda rohkem tarbeveel. Ilmnevad lekked. Põhjused ebaselged, kuid kuna see toimub piirkonniti, on see tõenäoliselt seotud tarbevee kvaliteediga ja ilmselt liiga kõrgele seatud temperatuuri sättele (Kaltsiumi ja magneesiumi katlakivi põhjustavad soolad hakkavad välja settima ca 70°C juures). Üks kahtlane piirkond on Männiku (piirkonnas oma puurkaev ja põhjus tundub olema külma tarbevee koostises). Kuna tarbevee soojusvahetis muutub termiline režiim mitmeid kordi ööpäevas, võib lekete põhjuseks olla ka metalli termiline väsimine.
- Välja on vahetatud ka esimesi ( 1995.a. ) avatavaid tarbevee soojusvaheteid Õismäel. Mujal on vahetusi vähem. Üks väljavahetamise põhjusi on ilmselt ka hooldaja oskamatus soojusvaheti keemilist läbipesu teha.
- Lekkeid on esinenud ka üksikutes kütte soojusvahetites.
- Soojussõlme pumpade vahetus pole ilmselt seotud nende rikkimine kuga, pigem sooja tarbevee ringluse parandamiseks ja seoses ülemine kuga kahetorusüsteemile ning termostaatventiilide paigaldusele.
- Õismäel on välja vahetatud ka eelmise põlvkonna automaatikat, mis oli tootmises kuni 1995.a.-ni.

Iga sellise üksikosa vahetus ei maksa enam kui 10-25% soojussõlme maksumusest, mistõttu vajadus kogu soojussõlme väljavahetuseks on väike. Elamuühistud ei kuluta reeglina elanike raha mõtlematult. Seetõttu vahetatakse vajadusel välja pigem soojusvaheti või automaatika (3D ajami juhtimiseks) kui kogu soojus- või soojavee sõlm. Pärast selliseid vahetusi võib soojavee sõlm kesta veel **10-15a**.

Seniste kogemuste alusel võib kaasaegse soojussõlme tehniliseks elueaks hinnata **17-22** aastat.

## 3.2 Soojusmõõtjad, kauglugemissüsteemid, arvutid

### 3.2.1 Soojusmõõtjad

Soojusmõõtjate paigaldamine Eesti kaugküttesüsteemides algas enne 1988.a. kuid suurema hoo sai see sisse alles pärast Eesti taasiseseisvumist. Katlamajade soojusmõõtjate paigaldamine algas pisut varem kui tarbimise mõõtmine, sest see võimaldas hinnata katlamajade terviklikku kasutegurit. Koos soojusmõõtjate paigaldamisega algasid ka kaugküttevõrkude arengus mitmed olulised režiimilised muutused, mis omakorda olid seotud kaasaegsete soojussõlmede ja soojuse mõõtmise evitamisega tarbijate juures. Kuni mõõtjate paigaldamiseni arveldati tarbijatega katlamaja soojuse tootmiskulude, mitte tegeliku mõõdetud soojatarbimise järgi.

1991a. detsembris paigaldati Eesti esimesele katseelamule Tallinnas Sütiste tee 16 energiakulu määramiseks soojusmõõtja kogu majja saabuva soojusenergia mõõtmiseks. Lisaks asetati soojavee liinile eraldi soojusmõõtja, et määrata soojale tarbeveele mineva energia osa kogu energiast. 1992.a. märtsis asetati samasugused soojusmõõtjad ka ehituselt analoogselle Sütiste tee 14 võrdlusmajale. Soojusmõõtjad on toodetud SVM-is (Svensk Värmemätning AB) ning nad jäid majade soojussõlmedesse ka pärast katsetuste lõppu.

Katsemaja kogemuste alusel käis tarbijate soojusmõõtjate massiline paigaldamine koos kaasaegsete soojussõlmede evitamisega aastail 1995-2000 ning kestab mõnes Eesti piirkonnas tänapäevani. Seotud on see kindlasti ka korterite ja elamute erastamise ja elamuühistute moodustamisega. Elanikud tahavad ise kontrollida oma soojustarbimist ja maksta arveid selle põhjal. Samuti tahavad nad näha, mida ettevõtetud soojussäästu üritused neile tegelikult annavad. Mõõte- ja arvestussüsteeme tarnivad Mesa-est, Danfoss, Kamstrup (ultraheli soojusmõõtjad) ja teised.

Iga soojusmõõtja põhiliseks koostisosaks on

- Kulumõõtja;
- Temperatuuri mõõtjad (siseneval ja väljuval torul);
- Arvestusplokk (integraator);

Tundlikumaks elemendiks on kulumõõtja, mille tööst sõltub suuresti soojusmõõtja täpsus. Väiksemate (tarbija) soojusmõõtjate kulumõõtjateks on võimalikud järgmised tüübid:

1. Tiivikmõõtjad, pöörete näit antakse üle magnetanduri abil;
2. Turbiinmõõtja, tema telg asub paralleelselt veevoolule toru keskel;
3. Magnet-induktsioonmõõtja: mõõdetakse indutseeritud pinget tekkivas magnetväljas, milline iseloomustab elektrit juhtiva vee voolu kiirust;
4. Ultraheli mõõtjad: mõõdetakse ajavahemikku, mis kulub genereeritud ultrahelil vee läbimiseks - see ajavahemik iseloomustab voolu kiirust

Viimastel aastatel on ultraheli mõõtjate konkurentsivõime oluliselt tõusnud. Kuigi hinnalt veidi kallimad, on nende eeliseks:

- ✓ Kõrge töökindlus;



Enamik soojusmõõtjate tootjaid valmistavad ka mitmesugust kauglugemiseks vajalikku aparatuuri. Eestis levinud Kamstrup soojusmõõtjate viimane põlvkond sisaldab mitmeid kauglugemisseadmeid, alates lihtsast kauglugemise modemiga varustatud soojusmõõtjast Multical 21 kuni M-Bus moodulini, mis kindlustab kõigi energiamõõtjate (elekter, vesi, soojus) lugemite kaugülekande.

Kauglugemissüsteemi efektiivseks kasutamiseks on esimeseks tingimuseks, et kõik vastava kaugküttepiirkonna tarbijad oleks varustatud soojusmõõtjatega.

Mõõtefirmad on huvitatud ka hoolduslepingutest, mis kindlustavat tarbijale nende mõõteseadmete pikaajast ja efektiivset tööd. Võib eeldada, et nende kauglugemisseadmete tehniline eluiga on sama pikk kui soojusmõõtjatel, seega **10-20 a.**

### 3.2.3 Arvutid

Arvutid ja arvutiprogrammid on üks kõige kiiremini arenev tehnikaharu üldse, mistõttu seadmete moraalne vananemine on väga kiire, palju kiirem kui tehniline vananemine. Järjest mahukam programmivarustus ja tarkvara, viiruse- ja pahavara tõrje jms. vajavad omakorda järjest võimsamaid ja kiiremaid arvuteid. Protsessi iseloomustav on see, et ka uute arvutite hinnad langevad kiiresti, mistõttu tavakasutaja võib saada oma lemmiku paari aasta pärast tunduvalt odavamalt. Kuna tavaline kasutaja kasutab arvuti võimalustest niikuinii vaid tühise murdosa, siis pole talle otstarbekas osta kõige viimast kallist mudelit; paari aasta pärast saab ta selle enam kui poole odavamalt.

IT-spetsialistide arvates [6] sülearvuti hankimisel kauemaks kui kaheks aastaks, peab igal juhul arvestama kõvaketta ning aku asendamisega. Ka sülearvuti protsessori saab odavalt ja vähese vaevaga parema vastu vahetada. Soovitav on valida sülearvutitootja, kellel ei ole olnud palju probleeme emaplaadi riketega, kus katki lähevad just transistorid.

Spetsialistidel on kindlasti võimalik oma arvutit moderniseerida, ning teha seda soodsamalt kui uue arvuti ostmise. Kuid arvuti tavakasutajale on kõik see liiga keerukas ning õigem on muretseda uus arvuti.

Kuigi arvuti võib kesta ka 10-15 aastat, pole temaga selle aja jooksul kiirelt arenenud mahuka tarkvaraga enam midagi olulist peale hakata. Seda arvestades võib lugeda kontoriarvuti tehniliseks elueaks **5-6 aastat.**

Arvuteil ja programmeeritavail kontrollereil, mida kasutatakse soojustehniliste protsesside juhtimiseks ja mille tarkvara, infoallikad (andurid) ja täiturorganid on installeeritud koos seadme paigaldusega ega vaja muutmist, on tehniline eluiga märksa pikem, hinnanguliselt põhiseadmega võrdne, **10-20 aastat.** Ca **5-7 aasta** järel võivad olla vajalikud väikesed muudatused või täiendused tarkvarasse ning, elektroonilise rikke korral, ka arvuti riknenud detailide või kogu arvuti vahetus. Kogu arvutijuhtimise süsteemi maksumus on tunduvalt suurem kui arvutil.

## 3.3 Kasulik (tehniline) eluiga aastates (vajadusel töötunnid)

Kasuliku eluea hindamisel on arvestatud praktiliselt katkematu operatiivse tööajaga aastas. Tarbija seadmed töötavad katkematult ning remondi/vahetusega seotud mõnepäevased katkestused toimuvad kord mitme aasta järel, mitte perioodiliselt.

Tabel 3.1 Soojuse müügi seotud põhivarade hinnatud kasulik eluiga

Seade	Kasulik eluiga (aastad)	Osade väljavahetuse % eluea jooksul
Ventiilid (3D ventiilid ajamiga; liblikventiilid) tarbeveele	13-15	10
Sama, küttele	15-20	3
Soojuspõõõtjad (katlamajas)	15-20	15
Soojuspõõõtjad (tarbijate juures)	10-20	5-10
Kauglugemissüsteem (soojuspõõõtja näitute automaatse lugemise süsteem)	10-20	Kogemused puuduvad
Soojussõõlm (ilma soojuspõõõtjata)	17-22	1-5

## 4 Kokkuvõte

Tabelis 4-1 on toodud kokkuvõtlik hinnang soojuse tootmise, jaotuse ja müügiga seotud seadmete tehnilise (operatiivse) eluea kohta. Siinjuures on rajatiste (soojuvõrk, katlamaja hoone, laoplatz, kütuse mahuti, korsten, jms.) puhul arvestatud kalendriaastatega, sest nad on kasutuses aastaringi; opereerivate seadmete puhul on hinnatud operatiivset eluaega aastates või töötundides.

*Tabel 4-1 Soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarad*

Jrk. nr	Seade	Kasulik eluiga, aastad, tunnid	Elueapikendus remondiga, a
1	Katlad:		
1.1	Puit ja turvas veekuutuskatel restkolle;	16-21	5
1.2	Puit ja turvas veekuutuskatel keevkihtkolle;	22-25	5-6
1.2	Puit ja turvas aurukatel keevkihtkolle (koostootmine);	22-25	5-6
1.3	Põlevkiviõli;	14-20	5-6
1.4	Maagaas;	17-25	5-7
1.5	Põlevkivi keevkihtkolle	22-25	5-7
2	Suitsugaaside pesur	13-17	5-7
3	Ökonomaiser	20-25	5-7
4	Katlamaja sisetorustikud (vajadusel täpsustada)	19-25	4-7
5	Elektrisüsteemid (el. seadmed, juhtmestik, kilbid, automaatika)	25-30	5-10
6	Suitsugaasianalüsaator	10-15	2-3
7	Puidu ja turba põletamise kolde restielemendid	10-15	3-5
8	Eelkolle puidu ja turba põletamiseks	8-10	3-5
9	Kalorifeer	10-15	2-3
10	Soojusvaheti	8-12	2-4
11	Suitsuimeja (vastavalt katlale ja kütusele)	13-25	3-7
12	Veepehmenusseadmed	20-25	4-5
13	Generaator (KTJ)	30-35	4-5
14	Varu diisलगeneraator (katlamaja)	25	vajaduseta
15	Põletid (põlevkiviõli, maagaas, biokütused)	15-20	5-6
16	Lekkedetektorid (soojuvõrgule)	40-50	5-10
17	Kaugjuhtimissüsteem (kaugvalve)	20-25	5-6
18	Valveseadmed	20-25	3-5
19	Tootmishoone	40-50	10-15, korduv
20	Kütusehoidla (laohoone)	35-45	7-10
21	Korstnad	30-40	4-5
22	Laoplatz	30-40	piirideta
23	Õli mahuti	35-40	4-5
24	Teenindusauto (kaubik, väikebuss)	13-14	3-4

25	Traktor	2000-25000 h	5
26	Sagedusmuundur	15-20	5
27	Kaugküttetorustik:		
27.1	Eelisoleeritud	40-50	10-15
27.2	Betoonkünades isoleeritud torustik	15-25	15-20
28	Pumbad	15-20	5
29	Ventiilid (3D ventiilid ajamiga; liblikventiilid)	13-20	5
30	Soojusemõõtjad (katlamajas ja tarbijate juures)	10-20	5
31	Kauglugemissüsteem (soojusemõõtja näitude automaatse lugemise süsteem)	10-20	5
32	Soojussõlm (ilma soojusemõõtjata)	17-22	10-15

Paljude allikate põhjal peetakse **25 aastat** katla normaalseks elueaks. Sellega arvestatakse tasuvusanalüüside tegemisel enne katla pakkumiskonkursi korraldamist. Läbimõeldud otsuse tegemiseks kaalutakse lisaks veel mitmeid asjaolusid, nagu valmistaja kaugus, varuosade kättesaadavus, tootja teeninduslepingu maksumus ja teeninduse operatiivsus, automatiseerituse tase, referentsid teostatud töödest, jms.

Kokkuvõtte juures on oluline lisada, et mitmete seadmete hinnangute puhul on tegu küllalt suurte üldistustega, sest raske on ühese hinnangu alla viia erinevat tüüpi, erineva võimsusega, erineva kütusega, tööparameetritega ja otstarbega seadmeid.

## 5 Kasutatud kirjandus

1. BCRI Inc. Technology Life-Cycles And Technological Obsolescence Stephen L. Barreca, PE, CDP,
2. IEA ETSAP Energy technology systems analysis programme; Technology Brief 101 – May 2010
3. UNFCCC/CCNUCC Methodological Tool “Tool to determine the remaining lifetime of equipment” (Version 01)
4. Natural Resources Canada. Office of Energy Efficiency, [www/oeenrncan.gc.ca](http://www/oeenrncan.gc.ca)
5. Energy Master Plan of Estonia, 1993
6. Miks tehnikaseadmed nii vähe vastu peavad? 17. 07. 2012 Aaro Kirss; Tehnikamaailm
7. *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems*; Hydraulic Institute, Europump, and the US Department of Energy’s Office of Industrial Technologies (OIT).
8. High Temperature Degradation in Power Plants and Refineries, *Heloisa Cunha Furtado*<sup>a</sup>, *Iain Le May*<sup>b</sup> 2001 aCEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica C.P. 2754, Cidade Universitaria, 20001-970 Rio de Janeiro - RJ, Brazil, 2002
9. Survey of European Experience with High Pressure Boiler Operation Burning Wastes and Fuel; Abstract; GEORG STABENOW, The International Boiler Works Co. East Stroudsburg, Pennsylvania
10. THEORY AND EXPERIENCE ON CORROSION OF WATERWALL AND SUPERHEATER TUBES OF WASTE-TO-ENERGY FACILITIES by Dionel O. Albina, 2005
11. How to Destroy a Boiler; William L. Reeves, P.E, President, ESI Inc. of Tennessee. 1999
12. EUROHEAT & POWER CERTIFICATION GUIDELINES FOR QUALITY ASSESSMENT OF DISTRICT HEATING PIPES, 2009.
13. Bubbling Fluidized Bed or Stoker — which is the Right Choice for Your Renewable Energy Project? J.P. DeFusco, P.A. McKenzie and M.D. Fick The Babcock & Wilcox Company Barberton, Ohio, U.S.A., 2007.
14. RELIABILITY AND MAINTENANCE IMPROVEMENTS IN LATEST GENERATION FLUIDIZED-BED BOILERS, Eero Hälikkä Foster Wheeler Energia Oy Finland
15. EUROPEAN STANDARD EN 253, January 2009. District heating pipes - preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks - pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene
16. Expected lifetime of pre-insulated pipes, *Torben Holm, Birch & Krogboe A/S; Lars Gullev, VEKS DBDH 2/2001.*