

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Energia

Ympäristötekniikka

*Ville Hietanen*

**KÄYTTÖVESIVARAAJAN EKOSUUNNITTELUVAATIMUSTEN  
MERKITYKSEN ARVIOIMINEN RAKENNUSTEN  
ENERGIANHALLINNASSA**

Työn tarkastajat:           Professori TkT Risto Soukka

  TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja:                 DI Jukka Määttä

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
LUT Energia  
Ympäristötekniikka

Ville Hietanen

### **KÄYTTÖVESIVARA AJAN EKOSUUNNITTELUVAATIMUSTEN MERKITYKSEN ARVIOIMINEN RAKENNUSTEN ENERGIANHALLINNASSA**

Diplomityö

2013

104 sivua, 32 kuvaa ja 4 taulukkoa

Tarkastajat: Professori TkT Risto Soukka  
TkT Mika Luoranen

Hakusanat: lämminvesivaraajat, käyttövesivaraajat, energiatehokkuus, ekosuunnittelu, energiamerkintä

Työn lähtökohtana ovat veden lämmittimiä koskeva ekosuunnittelulainsäädäntö ja sen vaatiman testausjärjestelmän laatiminen.

Työn tavoitteena on arvioida ekosuunnittelulainsäädännön vaikutusta varaajan toimintaan osana rakennusten energianhallintaa. Työssä laaditaan käyttövesivaraajalle tuoteryhmäkohtaisen ekosuunnittelulainsäädännön mukainen mittausjärjestelmä energiatehokkuuden, lämpimän veden saannon, vuosittaisen sähkönkulutuksen sekä energiamerkinnän määrittämiseksi. Lisäksi tarkastellaan ekosuunnittelulainsäädännön tarkoituksenmukaisuutta, selvitetään varaajan toimintaperiaatteet sekä keinoja käyttöveden tarvitseman energian vähentämiseksi.

Testattu käyttövesivaraaja täyttää ekosuunnitteluvaatimukset. Lämmitysenergian vähentäminen käyttövesivaraajan toimintaa tehostamalla on kuitenkin vaikeaa. Hybridijärjestelmien hyödyntäminen sähkölämmityksen ohella muita energianlähteitä ja esim. käyttöveden lämmöntalteenottoa käyttäen on toimivin keino vähentää käyttöveden energiankulutusta sekä parantaa varaajan energiatehokkuutta.

Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen osuus rakennuksen energiankulutuksesta kasvaa lainsäädännön pakottamana rakennusten kokonaisenergiankäytön vähentyessä. Ekosuunnittelulainsäädännön suora merkitys rakennusten energianhallintaan on Suomessa vähäistä nykyisen energiatehokkuustason ollessa suhteellisen korkea, jolloin käyttöveden tarvitseman energian vähentämiskeinoja on hyödynnettävä vaihtoehtoisia ratkaisuja.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
LUT Energy  
Environmental Engineering

Ville Hietanen

### **STORAGE WATER HEATER AND ECO-DESIGN REQUIREMENTS: ASSESSMENT OF ITS EFFECT ON BUILDINGS ENERGY CONSUMPTION CONTROLLING**

Master's Thesis

2013

104 pages, 32 figures and 4 tables

Examiners: Professor, D. (Tech.) Risto Soukka  
D. (Tech.) Mika Luoranen

Keywords: hot water heaters, domestic storage water heaters, energy efficiency, ecodesign, energy label

The basis of this thesis is the ecodesign legislation for hot water heaters and a demand to compose a testing method to fulfil the requirements set by the legislation.

The objective of this thesis was to review the influence of ecodesign legislation on the energy consumption of buildings. Testing arrangements were done according to ecodesign requirements for domestic storage water heaters to define the energy efficiency, deliverable quantity of hot water, annual electricity consumption and energy label. Also the adaptability of ecodesign legislation, the operational principles of a storage water heater and the chances to reduce hot water energy demand were reviewed.

The demands of the ecodesign legislation are fulfilled by the investigated domestic storage water heater. It is relatively difficult to reduce heating energy by improving the efficiency of a water heater. A rational way to reduce the energy demand and to improve the energy efficiency would be by utilizing additional energy sources and for example waste water heat recovery along with electric water heater is.

Energy efficiency improvements in buildings will increase the share of hot water heating energy. Ecodesign requirements are not significant since the existing energy efficiency level is quite high. Alternative methods should be implemented in order to reduce the energy needed for water heating.

## **ALKUSANAT**

Työn tekeminen on ollut monimuotoinen oppimisprosessi, joka on luonut perustan nykyisen työn tarjoamien haasteiden käsittelyyn. Kiitos VTT Expert Services Oy:lle mahdollisuuden tarjoamisesta!

Kiitokset työn tarkastajille Risto Soukalle sekä Mika Luoraselle. Erityiskiitos työn ohjaajalle Jukka Määtälle asiantuntevasta ohjauksesta, neuvoista sekä aidosta kiinnostuksesta työtä kohtaan. Lisäksi suuret kiitokset muille kannustaville työyhteisön jäsenille, jotka olivat osallisena työn toteutuksessa. Kiitos Kaukora Oy:lle käyttövesivaraajan tarjoamisesta testattavaksi.

Opiskeluaikana tärkein opiskelijayhteisön tekijä on ollut omalla kohdallani Teekkarilaulajat, joka on toiminut rentouttavana vastapainona opiskelulle ja tarjonnut haasteita sekä elämyksiä.

Kiitokset ystäville, jotka ovat tavalla tai toisella eläneet mukana. Erityiskiitokset Marialle kaikesta mahdollisesta tuesta työn aikana.

Espoossa 16.10.2013

Ville Hietanen

## SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	8
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Tutkimuksen tausta ja ajankohtaisuus .....	10
1.1.1 Ilmastomuutos ja globaali energiankulutuksen kasvu haasteena .....	10
1.1.2 Rakennusten energiatehokkuuden säätelyllä kohti pienempää kulutusta .	15
1.1.3 Varaaja merkittävässä roolissa rakennusten energianhallinnassa .....	19
1.2 Tavoitteet ja rajaus .....	20
2 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN TUOTANNON PERIAATTEET .....	21
2.1 Lämmin käyttövesi rakennuksissa.....	22
2.1.1 Lämpimän käyttöveden vaihtoehtoiset tuotantomuodot .....	25
2.1.2 Veden laadulliset ominaisuudet Suomessa .....	28
2.2 Käyttövesivaraajaratkaisut .....	29
2.2.1 Varaajien yleinen rakenne.....	30
2.2.2 Varaajan toimintaperiaate .....	32
2.2.3 Varaajan käytössä ja toiminnassa huomioon otettavia yksityiskohtia .....	34
2.2.4 Varaajan säiliön materiaalivalintojen vaikutukset käyttöveteen.....	35
3 VARAAJAN TOIMINTAAN KOHDISTUVAT VAATIMUKSET JA TULEVAT HAASTEET .....	38
3.1 Tulossa olevat energia- ja tuotehyväksyntävaatimukset .....	38
3.1.1 Ekosuunnittelu ja energiamerkintä.....	39
3.1.2 Tuotehyväksyntä ja CE-merkintä.....	42
3.2 Voimassa oleva varaajan toimintaa koskeva lainsäädäntö.....	43
3.2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi .....	44
3.2.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK) .....	45
3.2.3 Varaajan toimintaa käsitteleviä standardeja.....	46
3.3 Käyttöveden laatuvaatimukset ja hygienia.....	48
3.3.1 Legionella –bakteeri ja sen torjunta .....	49
3.3.2 Muu käyttövedessä esiintyvä mikrobikasvusto.....	51

4	TESTAUSJÄRJESTELMÄN	LAATIMINEN	
	EKOSUUNNITTELUVAATIMUSTEN MUKAISESTI.....		52
4.1	Testausjärjestelmän laatiminen .....		52
4.1.1	Lainsäädännön asettamat lähtökohdat mittausjärjestelyille .....		52
4.1.2	Mittausmenetelmän kuvaus.....		53
5	MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA NIIHIN VAIKUTTAVAT		
	OSATEKIJÄT.....		55
5.1	Mittaustulokset ja energialuokituksen määrittäminen .....		55
5.2	Varaajan energiatase ja ekosuunnitteluvaatimusten vaikutus .....		58
5.3	Varaajan lämpöhäviöihin vaikuttavat tekijät ja niiden merkitys.....		59
5.3.1	Varaajan lämpöhäviöiden määrittäminen .....		59
5.3.2	Varaajan eristäminen ja eristyksen vaikutukset .....		61
5.3.3	Varastoitavan veden lämpötilakerrostuminen.....		62
5.3.4	Varaajan lämmityksen säätö termostaatilla.....		62
5.4	Lämpimän käyttöveden tuotannon energian- ja tehontarve .....		63
5.4.1	Lämpimän käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia.....		65
5.4.2	Lämpimän käyttöveden siirtohäviöiden teoria ja laskelmat.....		66
5.4.3	Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve .....		67
5.4.4	Lämpimän käyttöveden lämmitystehon tarve .....		68
5.5	Analysointi ja johtopäätökset .....		69
5.5.1	Mittaustulosten merkitys rakennusten kokonaisenergianhallinnan arvioinnissa .....		70
5.5.2	Ekosuunnittelulainsäädännön tarkoituksenmukaisuus ja soveltuvuus.....		70
6	ENERGIATEHOKKUUDEN	PARANTAMIS-MAHDOLLISUUDET	
	LÄMMINVESIVARA AJAN TOIMINTAA JA LÄMMÖN VARASTOINTIA		
	TEHOSTAMALLA .....		72
6.1	Varaajan laite- ja säätötekniset energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet		73
6.1.1	Energian säästäminen lämpötilatasoa alentamalla .....		73
6.1.2	Kerrostumisen tehostaminen faasimuutosmateriaaleilla.....		74
6.1.3	Varaajan eristyksen parantamismahdollisuudet.....		78
6.2	Varaajan potentiaalın hyödyntäminen osana hybridijärjestelmää.....		79

6.3	Lämpimän käyttöveden lämmöntalteenotto (LTO).....	80
6.3.1	Käyttöveden LTO:n toimintaperiaate .....	81
6.3.2	Käyttöveden LTO:n säästöpotentiaali.....	83
6.3.3	Markkinoilla olevia laiteratkaisuja.....	84
6.3.4	Talteenottoon liittyviä vaatimuksia ja haasteita.....	87
6.4	Muita vaihtoehtoisia ratkaisuja lämmön varastointiin .....	89
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	90
8	YHTEENVETO .....	93
	LÄHDELUETTELO .....	95

## LIITTEET

LIITE 1: Ekosuunnitteluasetuksen mukainen kuormitustusprofiili XL

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

CE	Conformité Européene, CE-merkintä tuotteiden vaatimustenmukaisuudesta
CEN/TR	eurooppalaisen standardointijärjestö CEN:n tekninen asiakirja
CHP	Combined Heat and Power, sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos
CMHC	Canada Mortgage and Housing Corporation, kanadalainen energiatehokkuusvirasto
COP	Coefficient of Performance, lämpöpumpun ilmoitettu suorituskerroin
CPDW	Construction Product in contact with Drinking Water
DWHR	Domestic Water Heat Recovery, LTO
EC	European Commission, Euroopan komissio
EIA	U.S. Energy Information Administration, Yhdysvaltain energiaministeriö
E-luku	rakennusten energiatehokkuusluku
EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EPS	polystyreeni
ETA	European Technical Assessment, Eurooppalainen tekninen hyväksyntä
hEN	harmonisoitu eli yhdenmukaistettu EN-tuotestandardi
IEA	International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design, kiinteistöjen sertifiointijärjestelmä
LKV	lämmin käyttövesi
LTO	lämmöntalteenotto
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö
OEE	Overall equipment effectiveness, suom. KNL: Käytettävyys, nopeus, laatu
PCM	Phase Changing Material
PIR	polyisosyanuraatti
prEN	EN-standardin luonnosversio
PUR	polyuretaani
RES	Renewable Energy Sources, uusiutuvan energian direktiivi
RYL	Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SP	SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Ruotsalainen testaus- ja sertifiointiorganisaatio
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, YK:n ilmaston lämpenemistä koskeva puitesopimus



**Symbolit**

AEC	vuotuinen sähkönkulutus	kWh
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti	kJ/kgK
g	putoamiskiihtyvyys	m/s <sup>2</sup>
H	säiliön korkeus	m
$L_{lkv}$	kiertojohdon pituus	m
P	lämmitysteho	kWh
Pe	Péclet'n luku	-
$P_{lkv, \text{kiertohäviö}}$	kiertojohdon lämpöhäviöteho	W
$P_{lkv, \text{kiertohäviö, omin}}$	kiertojohdon ominaislämpöhäviöteho	W/m
$q_m$	tilavuusvirta	m <sup>3</sup> /s
$Q_{elec}$	varaajan todellinen sähkönkulutus	kWh
$Q_{lkv, \text{kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja	kWh
$Q_{lkv, \text{LTO}}$	käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia	kWh
$Q_{lkv, \text{LTO, säästö}}$	lämpimän käyttöveden talteenoton säästöpotentiaali	kWh
$Q_{lkv, \text{netto}}$	käyttöveden lämmityksen nettoenergiantarve	kWh
$Q_{lkv, \text{varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt	kWh
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	kWh
$Q_{ref}$	varaajan viitteellinen lämpöenergia	kWh
$r_{\text{syöttöputki}}$	syöttöputken säde	m
Ri	Richardsonin luku	-
$\Delta t_{\text{bottom-top}}$	lämpötilaero ala- ja yläosan välillä	°C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila	°C
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila	°C
$t_{lkv, \text{pumppu}}$	lämpimän käyttöveden pumpun käyttöaika	h/vrk
TT	Varaajan sisälämpötila	°C
v	veden keskimääräinen nopeus säiliön sisällä	m/s
$V_{40}$	varaavan vedenlämmittimen 40 °C veden saanto	l
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus	m <sup>3</sup>
$\alpha$	terminen diffusiviteetti	m <sup>2</sup> /s
$\beta$	lämpölaajenemiskerroin	1/°C
$\eta_{lkv, \text{siirto}}$	lämpimän käyttöveden siirtohyötysuhde	%
$\eta_{wh}$	varaajan energiatehokkuus	%
$\rho_v$	veden tiheys	kg/m <sup>3</sup>

# 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen hillitseminen energiankulutuksen kokonaiskasvua hidastamalla on globaali haaste. Veden lämmityksen osuus käytetystä energiasta on merkittävä ja lämpimän veden käyttäjien määrä lisääntyy jatkuvasti. Suomessa lämminvesivaraajien merkitys osana taloteknisiä järjestelmiä on kasvamassa, kun energiamääräyksissä on siirrytty kokonaisenergiatarkasteluun, joka ottaa huomioon myös lämpimän veden kulutuksen. Pitkään valmisteilla ollut ekosuunnitteluasetus vedenlämmittimille ja kuumavesisäiliöille (EU 814/2013) tulee muuttamaan varaajien valmistuksen säätelyä energiankulutuksen osalta. Ekosuunnitteluvaatimukset on laadittu EU:n laajuisesti, joten niiden soveltuvuus ja merkitys Suomen olosuhteisiin vaatii tarkempaa arviointia. Varaajien käyttö hybridijärjestelmien osana monipuolisten lämmönlähteiden hyödyntämiseksi on myös lisääntymässä. Tässä työssä tarkastellaan tavanomaista käyttövesivaraajaa koskevien ekosuunnitteluvaatimusten merkitystä sekä niiden vaikutusta varaajan toimintaan osana rakennusten energianhallintaa.

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja ajankohtaisuus

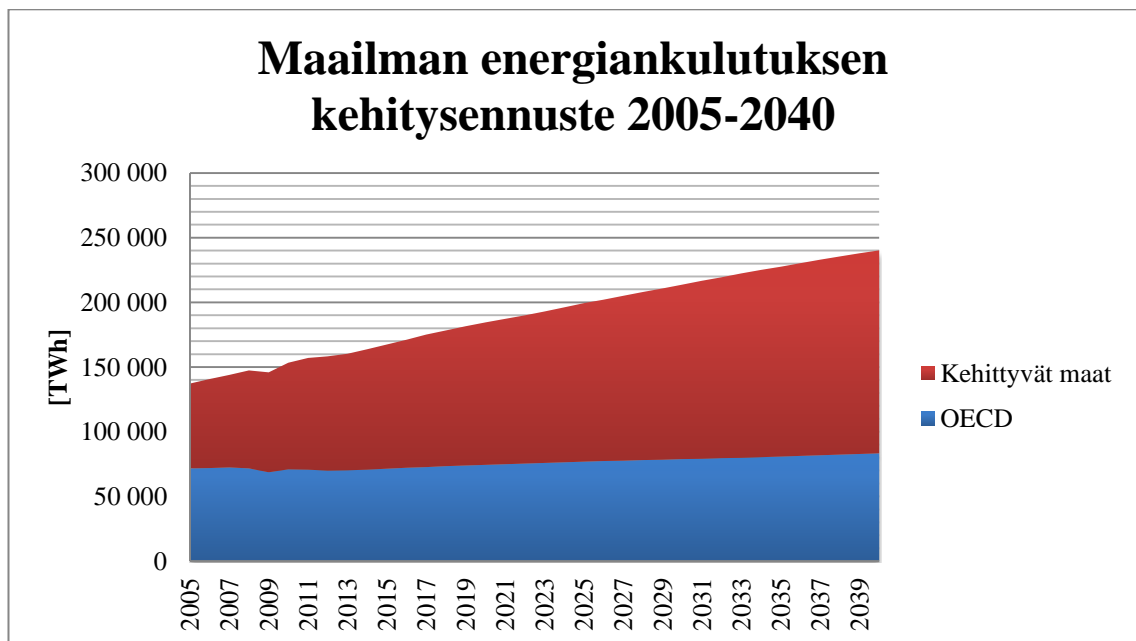
### 1.1.1 Ilmastonmuutos ja globaali energiankulutuksen kasvu haasteena

Ilmastonmuutoksen hidastaminen kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä on kansainvälisesti suurimpia puheenaiheita. Globaalisti päästöjen jatkuvaa kasvua pyritään hillitsemään erinäisin sopimuksin. YK:n ilmaston lämpenemistä koskevan puitesopimuksen (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) myötä siihen sitoutuneet osapuolet, kuten EU, pyrkivät säilyttämään globaalin lämpötilan nousun 2 °C:ssa vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä. Kansainvälisen energiajärjestö IEA:n (2011, 206) 450-skenaarion mukaisesti ilmakehän ekvivalentti hiilidioksidipitoisuus tulisi pitää alle 450 ppm:ssa. Pienempi energiankulutus on tavoitteen saavuttamiseksi merkittävässä roolissa.

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneeli IPCC:n mukaan (2007, 105) energian tuotanto aiheuttaa neljänneksen maailmassa syntyvistä päästöistä. Vaikka päästöjä voidaan vähentää ns. piipunpääteknologialla sekä siirtymällä fossiilisista uusiutuviin

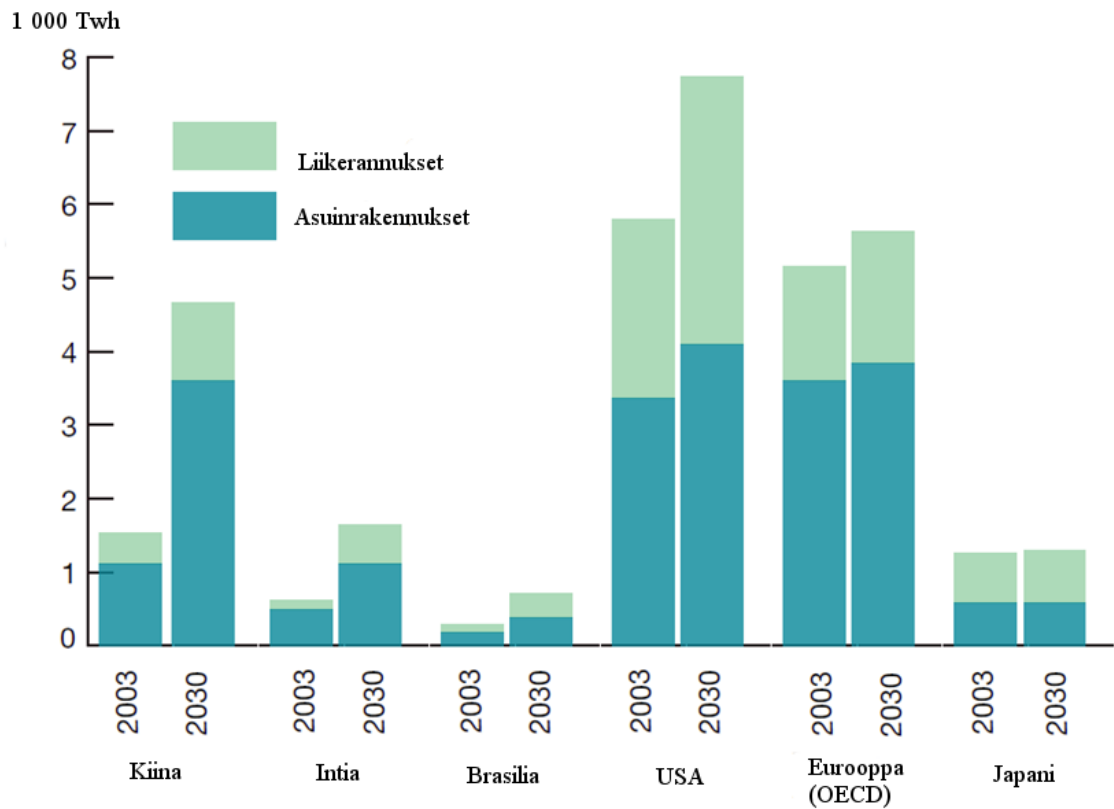
energianlähteisiin, on energian loppukäytön vähentäminen edelleen tehokkain keino päästöjen vähentämiseksi.

Vaikka Euroopassa energian tarpeen kasvu onkin hidastunut merkittävästi, on globaali tarve nousussa kehittyvien maiden taloudellisen kasvun myötä. Kehittyvien maiden energiankulutus jatkaa tasaista kasvuaan Yhdysvaltain energiainisteriön EIA:n energiakatsauksen mukaan kuvan 1 mukaisesti.



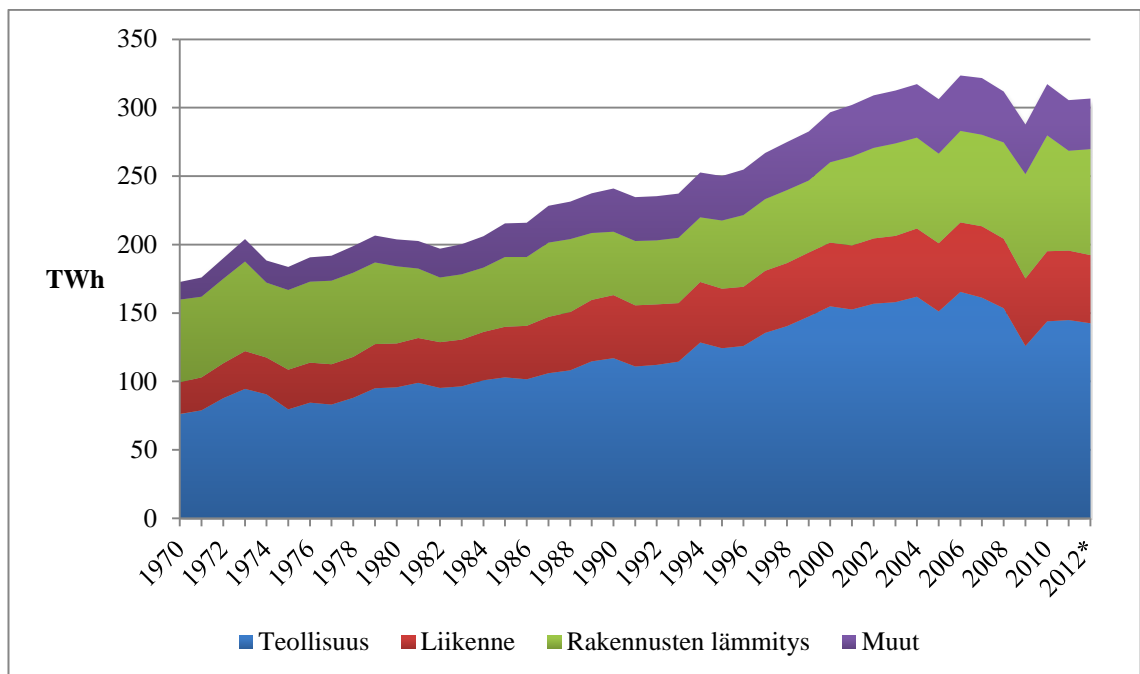
**Kuva 1.** Energiankulutuksen kasvu kehittyneiden markkinatalousmaiden (OECD) sekä kehittyvien maiden osalta vuosina 2005-2040 (EIA 2013).

IEA:n (2011, 87) arvioiden mukaan rakennusten energiantarve tulee kasvamaan maailmanlaajuisesti yli 30 % vuoteen 2035 mennessä. Kuvasta 2 nähdään kehittyvien maiden kasvu suhteessa ns. vanhoihin teollisuusmaihin rakennusten energiankulutuksen osalta. Euroopassa kehittyvien maiden kohdalla rakennusten energian kokonaiskulutus tulee säilymään lähes nykyisellään, kun Kiinassa ja Intiassa se vastaavasti moninkertaistuu.



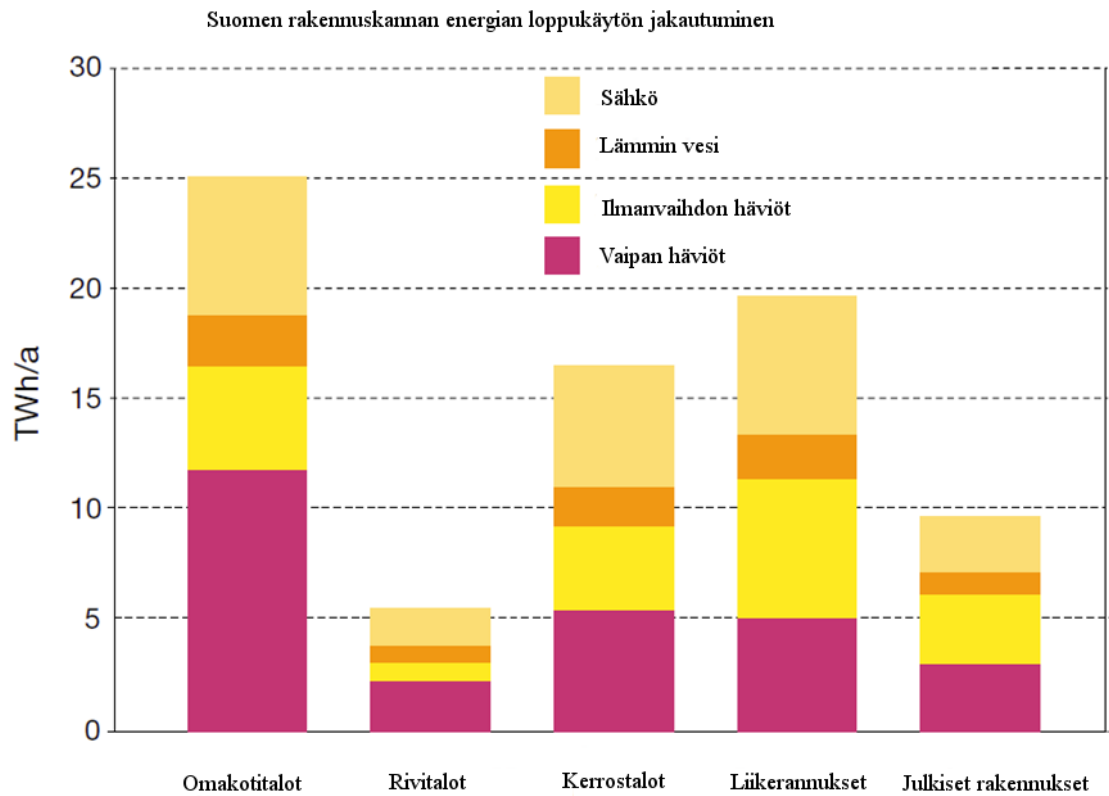
**Kuva 2.** Rakennusten energiankulutuksen kehittymisennuste alueittain vuosien 2003-2030 välillä. (VTT 2009, 105, muokattu)

EU:n ilmastosuunnitelma on ns. 20-20-20 –mallin mukainen eli tavoitteena on vähentää vuoteen 2020 mennessä 20 % kasvihuonepäästöjä, parantaa energiatehokkuutta 20 % ja tuottaa 20 % energiasta uusiutuvilla energianlähteillä. Rakennusten käytön aikaisen energiankulutuksen osuus on lähes 40 % kulutetusta primäärienergiasta ja kasvihuonekaasupäästöistäkin rakennusten käytön aikaiset toimet aiheuttavat yli 30 % (Martinkauppi 2010, 24). Kuvasta 3 nähdään rakennusten lämmitykseen kuluvan energian määrän säilyneen samansuuruisena jo pidempään.



**Kuva 3.** Energian loppukäyttö sektoreittain Suomessa (Tilastokeskus 2013).

Suomen rakennuskannan energiankulutus jakautuu kuvan 4 mukaisesti. Lämpöhäviöiden merkitys nykyisen rakennuskannan energiankulutuksessa on merkittävä.

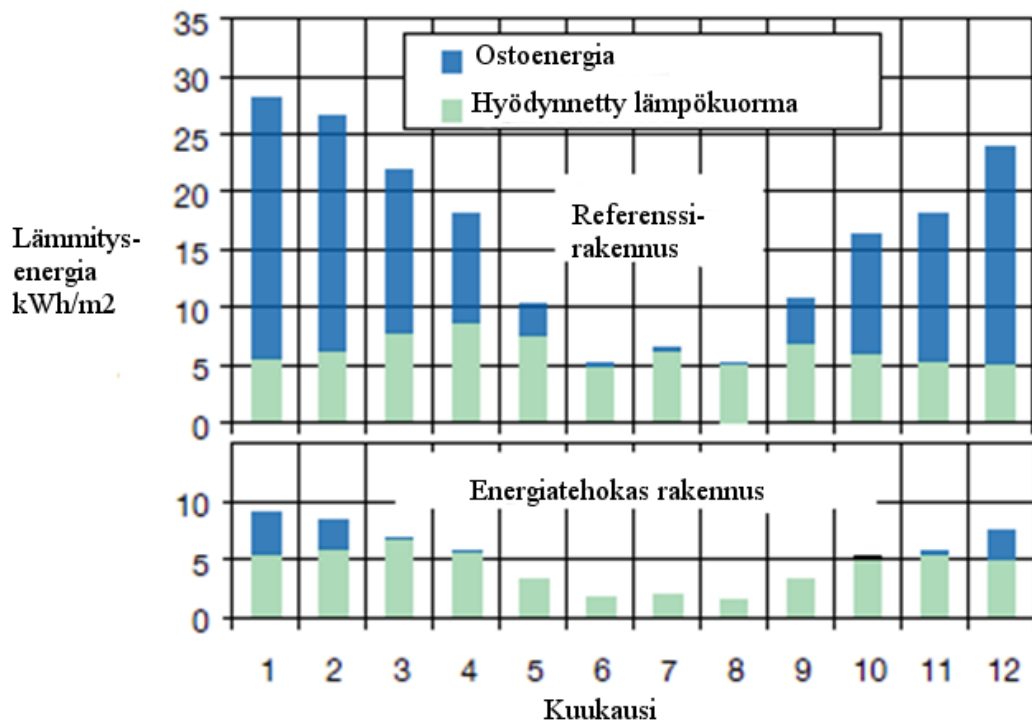


**Kuva 4.** Energian loppukulutus Suomalaisissa rakennuksissa vuonna 2000 (VTT 2009, 93, muokattu).

### 1.1.2 Rakennusten energiatehokkuuden säätelyllä kohti pienempää kulutusta

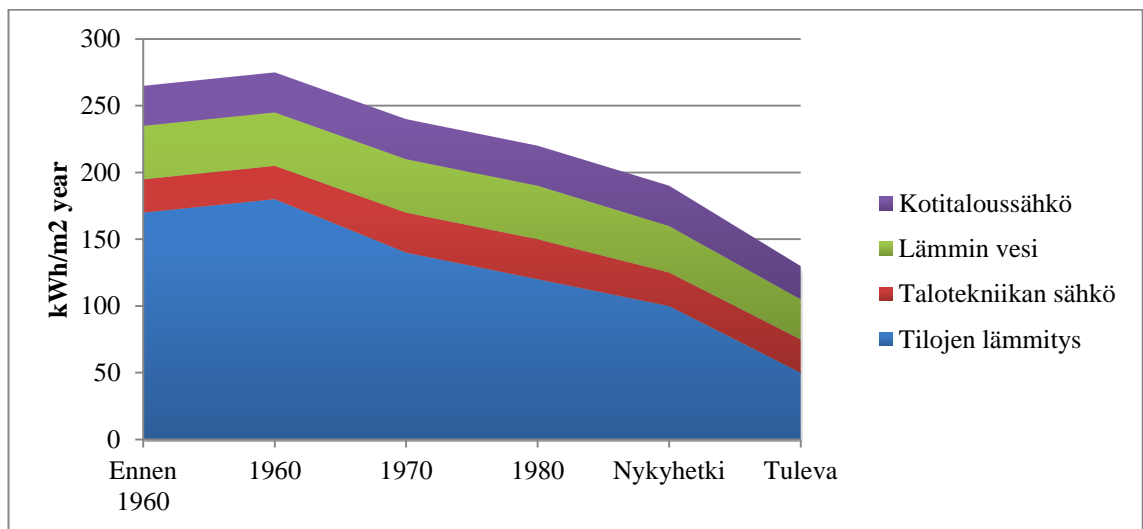
Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010/31/EU) määrittelee vähimmäisvaatimukset sekä uudis- että korjausrakentamiselle. Kansallisesti asia on säädetty energiatehokkuuden rakentamismääräyksillä. Uudisrakentamisessa vaatimuksena ovat lähes nollaenergiatalot vuoteen 2020 mennessä. Kuvasta 5 nähdään, että hyvin energiatehokkaiden rakennusten lämmitykseen tarvitseman ostoenergian tarve on pieni. Lämmöntarve saadaan parhaassa tapauksessa, kolmea kuukautta lukuun ottamatta, katettua rakennuksen sisäisiä lämpökuormia hyödyntämällä.

Rakennuksen energiatehokkuus, lämmön varauskyky ja lämpökuormat



**Kuva 5.** Tavanomaisen rakennuksen (RakMK vuoden 2008 vaatimusten mukainen) ja energiatehokkaan rakennuksen (passiivitalo) ostoenergioiden simuloidun tarpeen vertailu, Etelä-Suomessa sijaitsevalle kohteelle (VTT 2009, 96, muokattu).

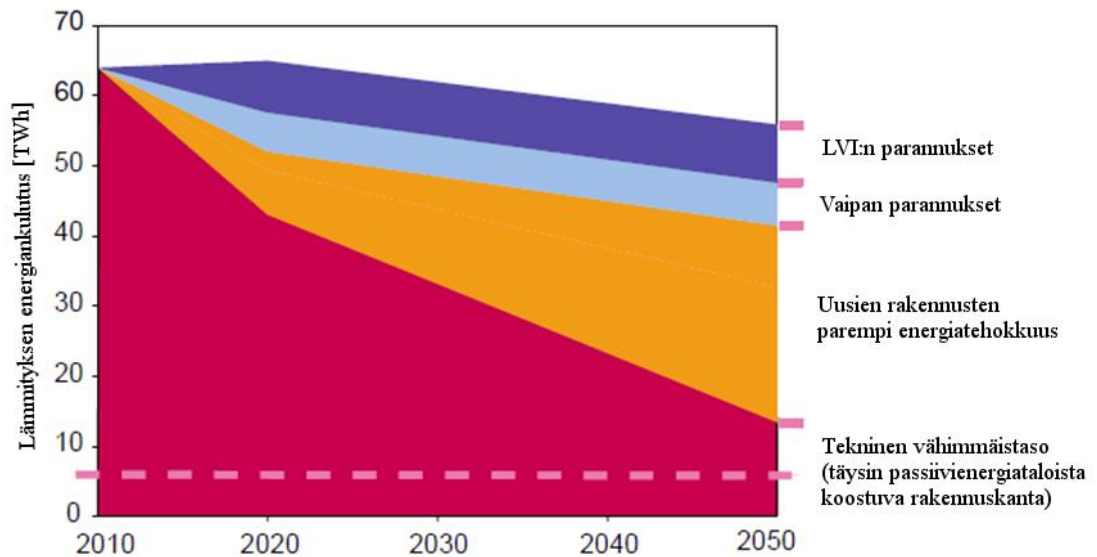
Kuvasta 6 nähdään omakotitalojen energiankulutuksen laskeva kehitys edellisten vuosikymmenten aikana. Tilojen lämmitykseen kuluvan energian määrä ja osuus on laskenut tasaisesti, kun taas muiden rakennuksessa energiaa kuluttavien osa-alueiden suhteellinen osuus on kasvanut. Kotitaloussähkön käyttökohteet ovat toki muuttuneet elektronisten laitteiden määrän lisääntyessä, mutta samalla energiatehokkuuden parantuminen on hillinnyt merkittävää sähkönkulutuksen kasvua.



**Kuva 6.** Omakotitalojen energiankulutuksen tyypillisiä keskiarvoja Suomessa eri aikakausilta (Halme et al. 2005, 12).

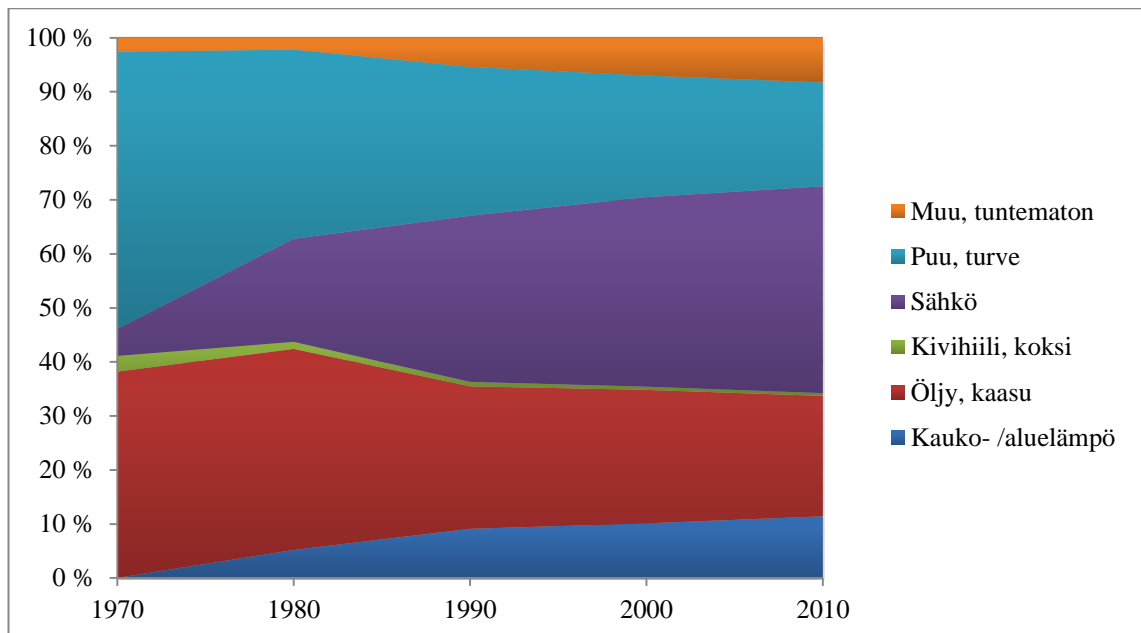


VTT:n tulevaisuusraportin (2009, 107) mukaan Suomessa rakennusten energiankulutus tulee laskemaan merkittävästi rakennus- ja talotekniikan kehittyessä vuoteen 2050 mennessä. Kansallisella tasolla uudisrakentamisen osuus on vain 1 % ja korjausrakentamisen osuus 3,5 % koko rakennuskannasta, joten pelkästään uudisrakentamisen energiatehokkuutta tehostamalla ei saavuteta riittäviä vähennyksiä energiankulutuksessa. Kuvassa 7 on esitetty rakennuskannan teoreettinen säästöpotentiaali, jonka merkittävin tekijä on rakennusten parempi energiatehokkuus.



**Kuva 7.** Suomen rakennuskannan arvioitu energiansäästöpotentiaali tulevien 40 vuoden aikana (VTT 2009, 107, muokattu)

Kuvasta 8 nähdään, että sähkön osuus Suomen koko rakennuskannan lämmityksestä on ollut merkittävä tämän vuosituhannen puolella. Erityisesti pientalojen energian käyttö muuttuu jatkuvasti. Lämmityksen painopiste on siirtymässä osittain uusiutuviin ja öljykattiloita vaihdetaan enenevässä määrin maalämpöön. Tällöin usein myös käyttöveden lämmönlähde muuttuu. Sähkön suhteellinen osuus lämmityksessä tulee kasvamaan öljyn korvautuessa maalämmöllä, jolla lämmön tuottamiseen tarvitaan kolme yksikköä kohden kuitenkin vain n. yksi yksikkö. Näissäkin järjestelmissä lämmin vesi taataan varaajan avulla, joka on varustettu usein erillisellä lämmitysvastuksella. Käyttövesivaraaja onkin merkittävä sähkön kuluttaja.



**Kuva 8.** Suomen rakennuskannan rakennukset lämmitysaineen mukaan vuosina 1970-2010 (Tilastokeskus 2012c).

EcoDesign-direktiivi on yksi EU:n keinoista säädellä energiaa käyttävien tuotteiden, kuten käyttövesivaraajien energiatehokkuutta suunnitteluvaatimuksia asettamalla (Martinkauppi 2010, 18-41). Kullekin yleiselle, laajalti käytössä olevalle tuotteelle, kuten käyttöveden lämmittimille (käsittäen käyttöveden varaajat), on oma tuoteryhmäkohtainen asetuksensa. Käyttövesivaraaja on merkittävä tekijä lämpimän käyttöveden ja energian käytön hallinnassa erityisesti Suomessa vallitsevissa olosuhteissa. Vuosituhannen vaihteessa Suomessa on arvioitu olevan n. 500 000

käyttövesivaraajaa ja uusien varaajien vuosittaisten myyntimäärien olevan n. 20 000 kpl (Leino 1999, 5). Vaihtoehtoisista lämmitysmuodoista huolimatta suora sähkölämmitys, maalämpö ja sähkölämmitteiset varaajat tulevat toistaiseksi säilyttämään merkittävän osuuden rakennusten lämmityksessä.

### **1.1.3 Varaaja merkittävässä roolissa rakennusten energianhallinnassa**

Tiukentuneet energiamääräykset vaativat rakennukselta entistä kattavampaa kokonaisenergiatarkastelua ja energiataseen hallintaa. Lainsäädännön muutokset ohjaavat energiaa käyttävien tuotteiden valmistajia kehittämään vaihtoehtoisia ratkaisuja. Ekosuunnittelulainsäädäntö sekä energiamerkintä tulevat muuttamaan käyttövesivaraajien suunnitteluperiaatteita sekä markkinointia. Energiamerkinnän tavoitteena on tehdä tuotteista vertailukelpoisia ilmoittamalla niiden suorituskyky ja energiankulutus. Tavoite on selkeä, mutta sen kansallinen soveltuvuus vaatii tarkempaa arviointia. Esimerkiksi maantieteelliset erot vaikuttavat lämmityksen tarpeeseen merkittävästi. Pohjoisessa lämmityskausi on muut Eurooppaa pidempi ja lämmöntarve siten suurempi. Kylmät talvet ovatkin haasteellisia kokonaisenergian hallitsemisessa. EU:n alueella Suomen lämmityskausi on pisin, n. 10 kuukautta eli jopa 80 % alueen keskiarvoa pidempi (Kemna et al. 2007, 22-23).

Käyttövesivaraajassa käyttöveden lämpötilan tulee olla korkea, lähes jatkuvasti vähintään 55 °C lämpimän käyttöveden hygienian takaamiseksi. Lämmitysenergia hukataan lämpöhäviöinä sekä viemäriin johdetun lämpimän veden mukana. Suomessa myytävien varaajien lämpöhäviöt ovat kuitenkin kohtuullisia. Veden kulutuksen ja sitä kautta energiankulutuksen vähentäminen teknisten keinojen avulla on myös muuttunut entistä vaikeammaksi. Varaajan tehokkaampi hyödyntäminen ja käyttö kuitenkin mahdollistaisi vielä käyttämättömän potentiaalin hyödyntämisen veden lämmitykseen kuluvan energian vähentämiseksi.

Teknisesti varaaja on yksinkertainen laite, mutta sen toiminta on riippuvainen siihen liitetystä muista toiminnoista. Varaajan suorituskykyyn vaikuttavat ensisijaisesti sen tilavuus, eristys, siihen liitetyn muun laitteiston eristys sekä veden lämpötilakerrostuminen. Käyttöveden varaajien suunnittelussa tulee lisäksi ottaa

huomioon lainsäädännön vaatimukset hygienian osalta, johon vaikuttavat ensisijaisesti pintamateriaalien laatu sekä veden lämpötilatasot.

Käytetyn lämpimän veden mukana viemäriin johdetaan huomattavat määrät hyödyntämätöntä lämpöenergiaa, jolloin esim. käyttöveden lämmöntalteenotto (LTO) olisi teknisesti mahdollista. Varaajaan syötettävä vesi on Suomen oloissa kylmää, 5-15 °C, joten vaihtoehtoiset lämmitysratkaisut toimisivat ns. kylmän käyttöveden esilämmittiminä. Ilmanvaihdon osalta energiansäästötoimenpiteitä on kehitetty laajalti jo pitkään, mutta jäteveden osalta energian hyötykäytön kehittäminen on vaiheessa ja sille on olemassa potentiaaliset markkinat. Jäteveden mukana ympäristöön poistuu merkittävät määrät hukkalämpöä, jonka hyödyntämisessä varaajaa voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin.

Tutkimus ja selvitystyö pohjautuu suurimmaksi osin kirjallisuuslähteisiin, jonka lisäksi apuna on käytetty VTT Expert Services Oy:n asiantuntijoiden tietoja.

## **1.2 Tavoitteet ja rajaus**

Tavoitteena on selvittää miten ekosuunnitteluvaatimukset vaikuttavat varaajan toimintaan osana rakennusten energiankäytön tehokkaampaa hallintaa. Tuoteryhmäkohtainen, käyttövesivaraajia koskeva ekosuunnitteluasetus sekä energiamerkintäpakko ovat merkittävimpiä varaajien kehitykseen vaikuttavia tekijöitä. Ekosuunnittelu- ja energiamerkintälainsäädännön vaatimien arvojen määrittämiseksi toteutetaan ekosuunnitteluasetuksen mukainen testausmenetelmä. Saatuja tuloksia sekä kehitysmahdollisuuksia tarkastellaan varaajan kokonaisenergiataloudellisuuden arvioinnissa. Testausmenetelmä toteutetaan VTT Expert Services Oy:lle Talotekniikan ja rakennustuotteiden testauspalveluiden kehittämisprojektina.

Lisäksi tarkastellaan, miten energiamerkintä vastaa tarkoitustaan ja miten EU-alueen yhteiset määräykset soveltuvat kansalliselle tasolle. Kiristyvien energiatehokkuusmääräysten myötä käyttöveden energian osuus lämmitysenergiankulutuksessa kasvaa. Työssä on siten tarkasteltu energianhallintaa myös laajemmalla alueella ottaen huomioon erinäisiä energiankulutukseen vaikuttavia varaajan yksityiskohtia sekä jo olemassa olevia, että potentiaalisia energiatehokkuuden kehitysmahdollisuuksia järjestelmissä, joissa varaajan rooli on oleellinen.

Tässä työssä keskitytään sähkövastuksella toimivaan, pääasiallisesti lämmintä käyttövettä tuottavaan ja varastoivaan vedenlämmittimeen. Laitteesta käytetään yleisesti nimitystä käyttövesivaraaja (*engl.* storage water heater) tai lyhennettynä varaaja-nimeä. Suomessa käytetään harvoin vedenlämmitin-termiä, koska yleisintä vedenlämmittintekniikkaa edustavat käyttövesivaraajat (Gynther et al. 2007, 8). Tavanomaisella varaajalla tarkoitetaan tässä työssä sähkövastuksella varustettua käyttövesivaraajaa. Myös muita lämminvesivaraaja- sekä vedenlämmitysratkaisuja esitetään lyhyesti.

Aluksi selvitetään lämpimän käyttöveden tuotantoa rakennuksissa sekä varaajan rakenteellisia että toiminnallisia periaatteita. Seuraavaksi esitetään lainsäädännön asettamat vaatimukset sekä tulevat haasteet varaajan toiminnalle. Testausjärjestelmää ja sen toteuttamista esitellään lyhyesti, jonka jälkeen arvioidaan saatuja tuloksia sekä niiden merkitystä rakennusten kokonaisenergianhallinnan puitteissa. Ekosuunnitteluvaatimusten mukaisten testien ja arvioinnin jatkamiseksi käydään läpi vaihtoehtoisia varaajan hyödyntämismahdollisuuksia käyttöveden tuotannon energiatehokkuuden parantamiseksi.

## **2 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN TUOTANNON PERIAATTEET**

Aikanaan puun ja hiilen vielä ollessa pääasiallisia lämmitykseen käytettyjä polttoaineita, peseytymiseen tarvittavaa vettä lämmitettiin padassa avotulella. Ennen suihkujen yleistymistä, kun peseytyminen tapahtui kylvyssä käymällä, ei lämpimän veden varaajille varsinaisesti ollut tarvetta. Vesi lämmitettiin tarpeeseen. (Pitts et al. 2003, 34.) Nykyisin varaajan tarkoituksena on taata riittävä lämmin käyttövesi tarvittaessa ja tasoittaa kulutushuippujen osalta lämmityksen tehontarvetta. Näin ollen lämmitystehon mitoittaminen hetkellisen huippukulutuksen mukaan ei ole kannattavaa. Oleellista onkin mitoittaa varaajan koko sekä lämmitysvastus lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan. Lämpöä voidaan varastoida silloin, kun se on kannattavinta, kulloinkin edullisimmin saatavilla olevaa energialähdettä hyödyntäen. Varaajassa olevaa lämpöä voidaan taas käyttää silloin, kun sitä eniten tarvitaan. Käyttövesivaraaja lämpimän käyttöveden varastointimuotona on suosittu veden suhteellisen hyvän

ominaislämpökapasiteetin, sekä puhtauden ja edullisuuden vuoksi. Veden ominaislämpökapasiteetti eli lämmön varastointikyky on 4,182 kJ/ K kg eli n. 1,16 kWh/m<sup>3</sup>/°C. (Koskelainen et al. 2006, 386.)

Tuotetun energian varastointi on teknisesti haastavampaa ja kalliimpaa kuin primäärienergian varastointi erilaisten polttoaineiden muodossa. Lämmön varastointi veteen on jo monia vuosikymmeniä käytetty ratkaisu. Vesi on varastointimateriaalina tehokas, mutta samalla myös paljon tilaa vievä varsinkin suurempien energiamäärien varastoinnissa. Energian varastointimuotona lämmön sitominen veteen on joka tapauksessa tehokkaampaa kuin esim. energian sitominen veden potentiaalienergiaan pumppaamalla vettä korkeammalle tasolle hyödynnettäväksi vesivoimana myöhemmin.

Lämminvesivaraajatyypit ja koot vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Rakenteellisesti varaaja on yksinkertainen laite. Merkittävimpiä tekijöitä sen rakenteellisessa toimivuudessa ovat siihen liitettyjen toimintojen lisäksi geometria, eristys sekä säiliön pinnoitus. Tässä luvussa käsitellään varaajan ominaisuuksia ja erilaisia varaajatyyppejä, rakennetta, pinnoitusmateriaaleja sekä toimintaperiaatetta.

Varaajan käytön periaatteena on se, että käyttöveden lämmityksen teho on varaajajärjestelmässä lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamalla veden lämmittämiseksi tarvittavaa tehoa pienempi.

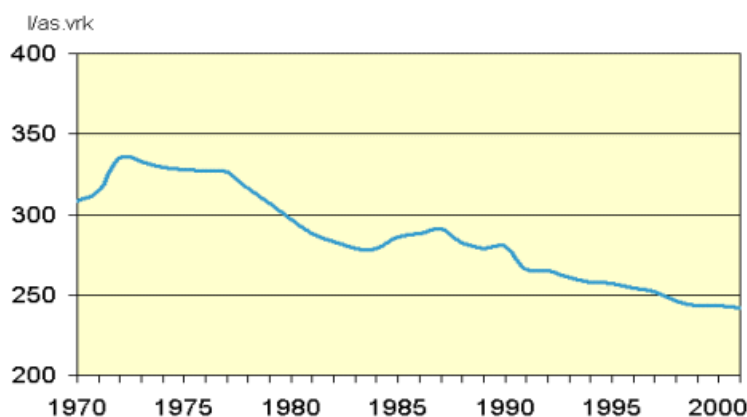
## **2.1 Lämmin käyttövesi rakennuksissa**

Juoksevan lämpimän käyttöveden historia ulottuu ainakin 1850-luvulle bostonilaiseen hotelliin (George 2012, 43). Lämmin käyttövesi on globaalisti tarkasteltuna ylellisyystuote, mutta suomalaisille nykyisin itsestäänselvyys. Asumisterveysohjeen (Aurola 2003, 87) ja RakMK D1:n mukaisesti nykyaikaisissa asuinhuoneistoissa lämminvesiverkosto tulee suunnitella siten, että lämmintä vettä saadaan riittävästi ilman kohtuutonta odotusaikaa.

Suomalaiset kuluttavat vettä keskimäärin 155 l/vrk, josta n. kolmannes on lämmintä käyttövettä. Kulutustottumukset vaikuttavat merkittävästi kulutusmääriin sillä henkilökohtaiset määrät vaihtelevat 90-270 litran välillä. Keskimääräisen vedenkulutuksen tasoa olisi siten edelleen mahdollista laskea ja sitä kautta vähentää

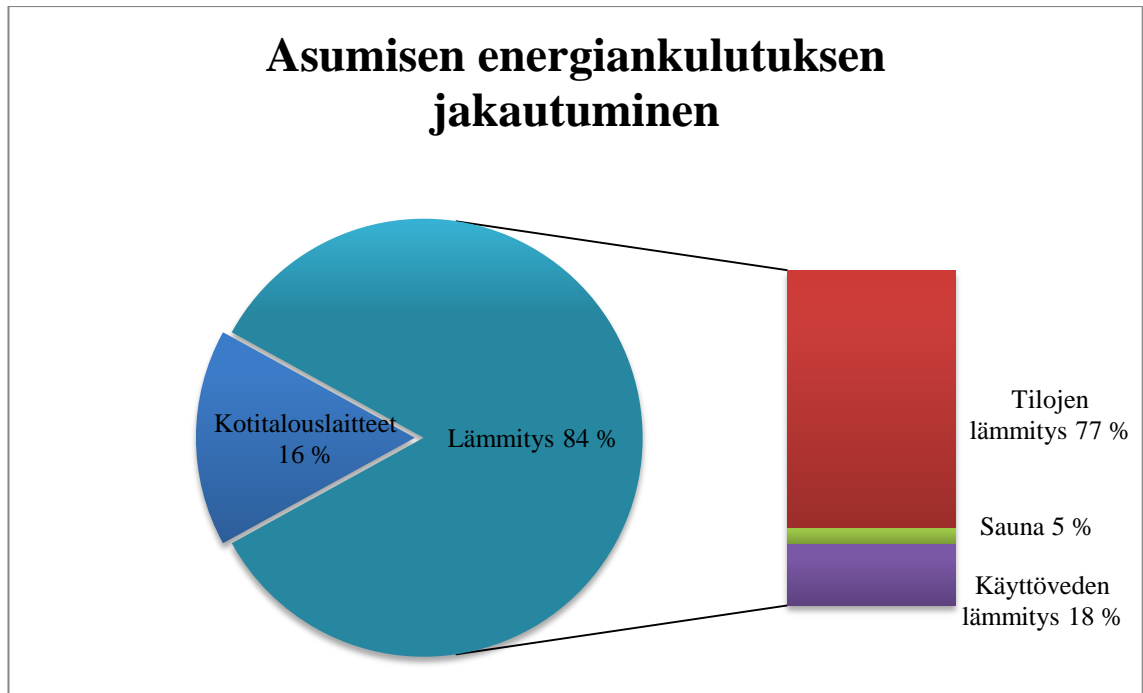
myös energiankulutusta. (Teknologiateollisuus ry 2012, 35.) Yhtenä vedenkulutuksen vähentämiskeinona huomioitava huoneistokohtaisen vesimittarin säästövaikutus on Ympäristöministeriön (2009, 15) työryhmän selvityksen mukaan vedenkulutuksen osalta 10-30 % ja sitä myöten energiankulutuksen kohdalla 3-9 %. Huoneistokohtaiset vesimittarit ovatkin olleet vuodesta 2011 alkaen Ympäristöministeriön kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista annetun RakMK D1 täydentävän asetuksen nojalla pakollisia enemmän kuin yhden huoneiston käsittävissä uudisrakennuksissa ja 2013 voimaan tulleiden korjausrakentamisen energiamääräysten myötä myös luvanvaraisissa korjausrakennuskohteissa. Vettä säästävät hanat ovat myös vähentäneet veden kulutusta merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Niidenkin kohdalla on kuitenkin jo tultu pisteeseen, jossa kulutuksen tehokkaampi optimointi teknisin keinoin on muuttunut todella haastavaksi ja esim. suihkujen osalta virtaaman voidaan olettaa säilyvän käytännössä nykyisellään vaikka esim. LEED-sertifioinnissa vesihanojen kulutusta pyritään pienentämään entisestään.

Vedenkulutus on ollut jatkuvasti laskussa aina 70-luvulta asti kuvan 9 mukaisesti. Veden kokonaiskulutus nousi vuosittain aina vuoteen 1973 asti, jolloin öljykriisin myötä öljyn hinta moninkertaistui (Seppänen 2001, 247). Kuten Kuva 8 nähdään, Suomessa rakennusten lämmitysenergian käytössä öljyllä oli 70-luvulla merkittävä, n. kolmanneksen osuus. Vallitsevien asenteiden ja olemassa olevan tekniikan ansiosta kulutuksen voidaan olettaa kotitalouksien osalta pysyvän nykyisellä tasolla tai jopa laskevan. Vuosituhannen vaihteessa arviolta 3/5 ominaiskulutuksesta oli kotitalouksien käyttöveden kulutusta. (Ympäristöhallinto 2003.)



**Kuva 9.** Veden ominaiskulutus liittyjää kohden vuorokaudessa Suomessa, sisältäen kotitalouksien lisäksi mm. teollisuuden, maatalouden ja julkiset palvelut (Ympäristöhallinto 2003).

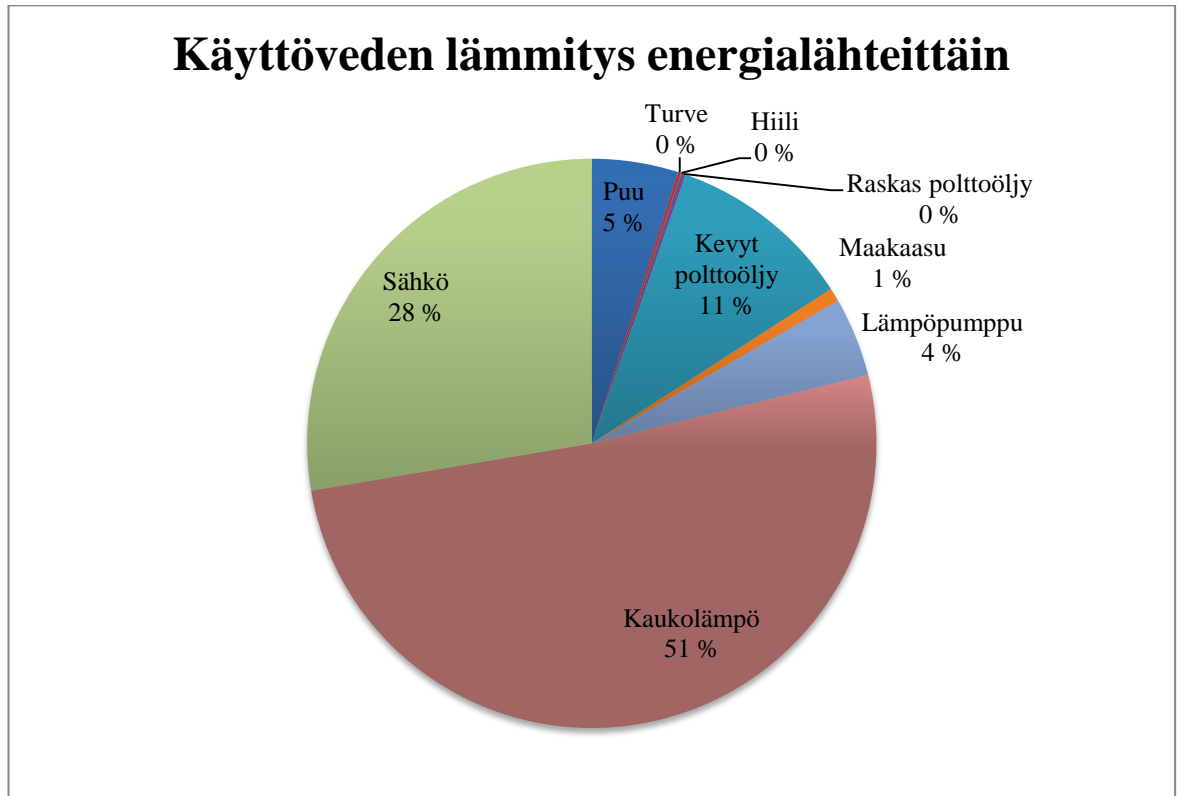
Tilastokeskuksen (2012a) mukaan suomalaisten kotitalouksien kokonaisenergiankulutuksesta vuosina 2008-2011 n. 84 % kului kuvan 10 mukaisesti lämmitykseen. Lämmitysenergiasta noin viidennes kului käyttöveden lämmitykseen.



**Kuva 10.** Asumisen energiankulutuksen jakautuminen Suomessa vuosina 2008-2011 (Tilastokeskus 2012a).



Käyttöveden lämmitykseen käytettiin energiaa 9,6 TWh vuonna 2011. Vertailun vuoksi esim. yhden Olkiluodon ydinvoimalan yksikön sähkön vuosituotanto on n. 7 TWh. Kuvan 11 mukaisesti kaukolämmöllä tuotettiin käyttöveden lämmitysenergiasta yli puolet, mutta myös sähkön osuus oli lähes kolmannes.



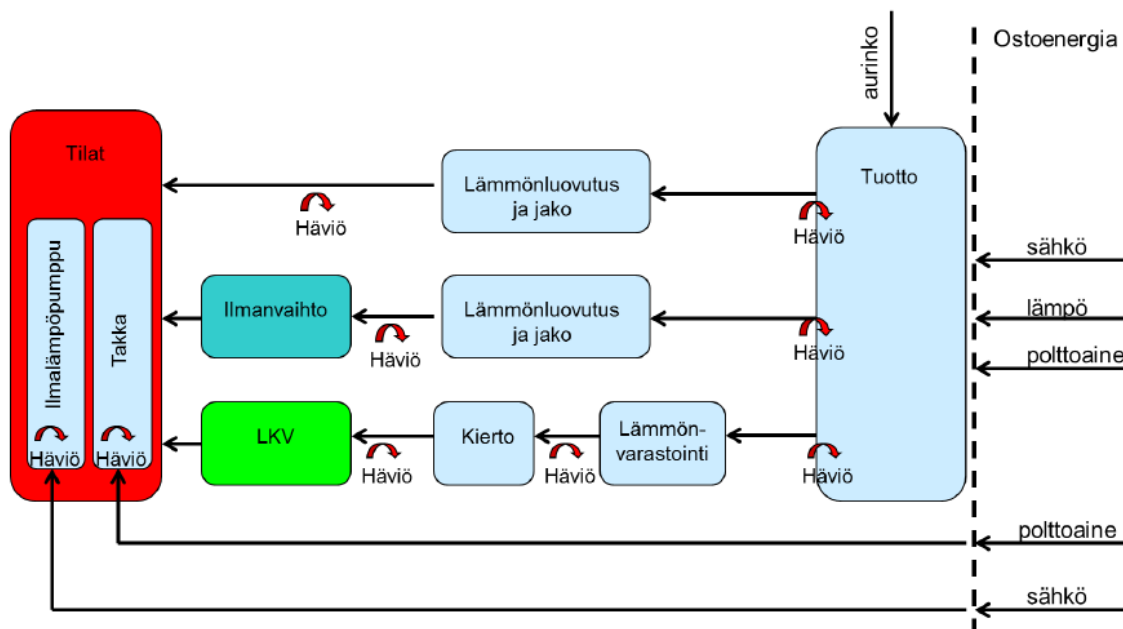
**Kuva 11.** Käyttöveden lämmitysenergiankulutus energialähteittäin Suomessa (Tilastokeskus 2012a).

### 2.1.1 Lämpimän käyttöveden vaihtoehtoiset tuotantomuodot

Veden lämmittäminen on nykyään pitkälti automatisoitua. Ensimmäisen automaattisen vedenlämmittimen kehitti norjalainen insinööri Edwin Ruud jo vuonna 1889 (George 2012, 42). Lämpimän käyttöveden tuottaminen tapahtuu nykyaikana pääsääntöisesti muutamalla vaihtoehtoisella tavalla:

- Varaajassa sähkövastuksella
- Kaukolämmöstä lämmönsiirtimellä
- Läpivirtauslämmittimellä hetkellisen tarpeen mukaan
- Käyttövesikierukalla kattilasta, aurinkokeräimestä tai energiavaraajasta

Lämpimän käyttöveden varaaja toimii rakennuksen energianjakelussa lämmöntuotannon ja käytön välissä. Kuvasta 12 nähdään lämpimän käyttöveden varastoinnin sijoittuminen rakennuksen energiataseessa.



**Kuva 12.** Lämpimän käyttöveden ja varaajan (lämmön varastointi) sijoittuminen rakennuksen energiatasekuviioon (RakMK D5, 37)

Tavanomaisessa käyttövesivaraajassa käyttövesi voidaan ottaa suoraan varaajasta sekoittimen kautta käyttöön tai vaihtoehtoisesti lämpöenergiaa saadaan käyttöveteen varaajasta käyttövesikierukan avulla johtamalla kylmä käyttövesi kierukan läpi. Tässä työssä keskitytään varaajien osalta kotitalouskokoluokan ratkaisuihin, koska erityisesti Suomessa varaajien käyttö on omakotitaloissa selvästi kerrostaloja yleisempää. Kerrostalojen pääasiallinen käyttöveden lämmönlähde on kaukolämpö. Kuvan 11 mukaisen lämpimän veden energiantuotantomuotojen jakauman perusteella voidaan olettaa, että n. puolet kulutetusta käyttövedestä kulkee varaajan kautta kun kaukolämmön osuus tuotannosta on n. 50 %.

Kaukolämmön kanssa varsinaista varastoivaa varaajaa käytetään harvoin, sillä lämmönvaihdin mitoitetaan suoraan kulutuksen mukaan. Kaukolämmöllä tariffi on Suomessa päivänajasta riippumaton, joten varaajan lataaminen edullisemmalla yötariffilla ei näin ollen ole mahdollista. Kaukolämmitteisissä taloissa käyttövesi

lämmitetään lämmönsiirtimellä, joka on kytketty kaukolämpöverkkoon yleensä ns. osittaisella rinnakkais-sarjakytkennällä, jossa käyttövesi myös esilämmitetään lämmitysverkoston lämmönsiirtimestä poistuvalla kaukolämpövedellä. Kaukolämmitteisten omakotitalojen eli pienkuluttajien kohdalla kytkentä on lähes vastaava, mutta ilman lämmitysverkoston siirtimellä tapahtuvaa käyttöveden esilämmitystä. (Seppänen 2001, 272.) Hyödyntämällä varaajaa kaukolämmityksen yhteydessä ns. puskurivarastona, olisi mahdollista leikata kulutushuippuja, mikä mahdollistaisi pienemmän lämmönvaihtimen mitoitus- ja kaukolämmön tilaustehon. Tämä laskisi kaukolämmön kustannuksia alentuneina liittymis- ja perusmaksuina. (Klobut 2009, 37.) Yleisimmissä kytkennöissä varaajaa ei kuitenkaan juuri käytetä (Koskelainen 2006, 82-85).

Läpivirtauslämmittintä käytetään yleensä kohteissa, joissa lämpimän veden tarve on suhteellisen pieni. Lämpöhäviöt ovat varaajaan verrattuna vähäisiä, koska lämmin vesi tuotetaan tarpeeseen nopeasti kuumentamalla suurella teholla eikä varastoinnista synny häviöitä. Varaajien nykyaikaisen eristyksen myötä läpivirtauslämmittimet ovat kokonaistaloudellisesti järkeviä ratkaisuja vain poikkeustapauksissa, kuten erittäin harvoin lämmintä vettä tarvitsevilla kohteilla, joihin ei ole saatavilla riittävästi sähköä ja energianlähteenä käytetään kaasua. (Pitts et al. 2003, 37 ja 54.) Keskimääräisessä suomalaisessa kotitaloudessa läpivirtauslämmitin ei ole kannattava ratkaisu, koska varsinkin sähköllä toimivan laitteen tarvitsema teho yhdessä saunan kanssa käytettynä, vaatisi riittävän selvästi suuremman sulakekoon riittävän virtauksen saavuttamiseksi.

Yhdysvalloissa ennen varaajien nopeaa yleistymistä 1900-luvulla, vesi lämmitettiin poikkeuksetta kaasukäyttöisillä läpivirtauslämmittimillä. Varaajien energiatehokkuuteen alettiin kuitenkin panostaa myöhemmin kaasun hinnan äkillisen nousun johdosta. (Pitts et al. 2003, 37-38.) Viime vuosina kaasun hinta on Yhdysvalloissa laskenut merkittävästi liuskekaasun runsaan saatavuuden ansiosta. Suomessa läpivirtauslämmittimet eivät kuitenkaan ole koskaan yleistyneet. Toisaalta esim. Englannissa kaasulla kuitenkin lämmitetään edelleen yli 80 % lämpimästä käyttövedestä (Boait et al. 2012, 161).

Kattilaa lämmön lähteenä käytettäessä käyttövesi voidaan lämmittää suoraan kattilassa tai kattilavesivaraajassa käyttövesikierukalla, käyttöveden lämmönsiirtimellä kattilapiirissä tai lämmönsiirtimellä kattilan ja varaajan välillä. Järjestelmissä, joissa

käyttöveden lämmitys ei tapahdu varaajan kautta, kattilan tehon merkitys kasvaa. Tällöin lämmitysverkostoon johdettava teho alentaa käyttövesitehoa jopa 15-20 %, joka tulee ottaa huomioon kattilan mitoituksessa. Esimerkiksi, jos öljypoltin on ylimitoitettu, sen käyntiajat ovat lyhyitä jaksoja, jolloin pysähdyksissä ollessa kattilan läpi virtaava ilma aiheuttaa läpivirtaushäviöitä ja hyötysuhde laskee. (Seppänen 2001, 255-260.)

### **2.1.2 Veden laadulliset ominaisuudet Suomessa**

Vesilaitoksilta lähtevä vesi on poikkeuksetta hygieniansa osalta hyvin laadukasta. Suomessa jaettavasta talousvedestä vuonna 2001 pintavettä oli 39 % ja pohjavettä sekä tekopohjavettä 61 % (Keinänen-Toivola et al. 2007, 11). Vaikka vesi on tervehdelliset vaatimukset täysin täyttävää, sen tekniset ominaisuudet saattavat olla haasteellisia juomaveden kanssa kosketuksissa olevien materiaalien kestävyiden kannalta (Määttä ja Kaunisto 1997, 29). Suomessa sekä muissa pohjoismaissa talousvesi on yleensä eurooppalaiseen tasoon verrattuna pehmeää ja hapanta (Kekki et al. 2007, 19). Tällöin metalliputkien pinnoille suojaavien kerrostumien muodostumista estävän kovuussuolan pitoisuudet vedessä ovat suhteellisen pienet. Veden happipitoisuus, pH-arvo, suola- eli kloridi- ja sulfaattipitoisuudet sekä alkaliteetti ovat merkittävimpiä metallien korroosioon vaikuttavia tekijöitä. Happamat vedet aiheuttavat emäksisiä enemmän korroosiota. Lisäksi esim. pintavesien käsittelyssä käytetty alumiinisulfaatti voi aiheuttaa kuparin pistekorroosiota. (Määttä ja Kaunisto 1997, 29.)

Kaivoveden käyttö on myös edelleen hyvin yleistä ja suurin osa siitä ei täytä korroosion kestävyiden asettamia vaatimuksia. Vesi on yleensä pohjavettä eli hapanta ja pehmeää vettä, joka sisältää hiilidioksidia, rautaa tai mangaania. Talousvesiasetuksen (461/2000) laatuvaatimukset eivät koske yksittäisiä, kaivovettä käyttäviä kotitalouksia. (Määttä ja Kaunisto 1997, 29.)

## 2.2 Käyttövesivaraajaratkaisut

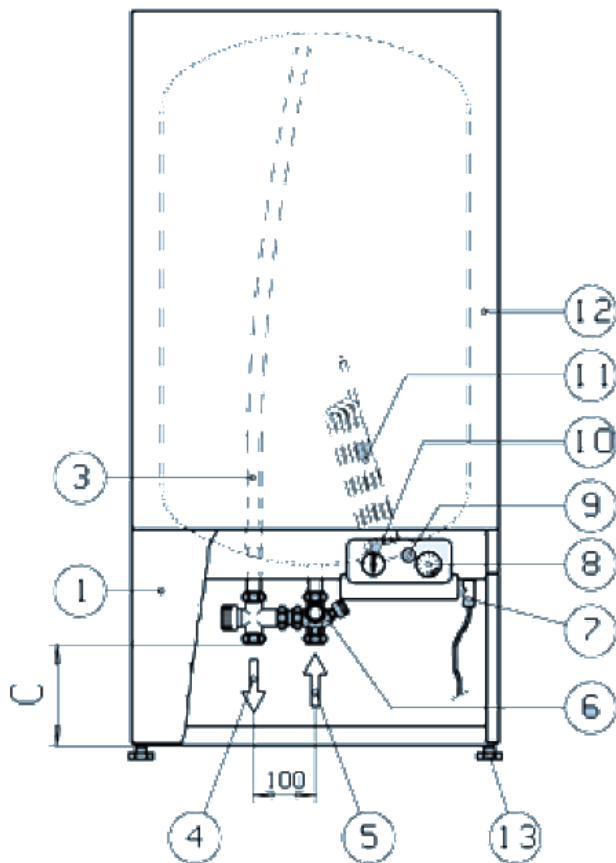
Varaaja on teknisesti hyvin perinteinen fysiikan lakeja noudattava tekninen laite ja sen vaihtoehtoisiin ratkaisuihin liittyvää tutkimusta on saatavilla suhteellisen paljon.

Varaajat voidaan jakaa yleisesti rakenteen osalta kolmeen päätyyppiin: moduulivaraajiin, vaakamallisiin sekä lieriön muotoisiin pystyvaraajiin. Moduulimalli on ulkonäöltään kaapinomainen, moduulimittoihin mitoitettu laite, jossa putkiyhteet jäävät katteen sisälle. Moduulimalli on käytännössä katettu lieriövaraaja. Suomessa yleisin varaajakoko on 300 litraa. Vaakamallinen varaaja sijoitetaan yleensä saunan lauteiden alle tilan säästämiseksi ja yleisin käyttökohde onkin vapaa-ajan asunnoissa. Tällöin märkätilojen aiheuttama kosteus asettaa rajoitteita varaajan rakenteen kestävyydelle. (Leino 1999, 7.)

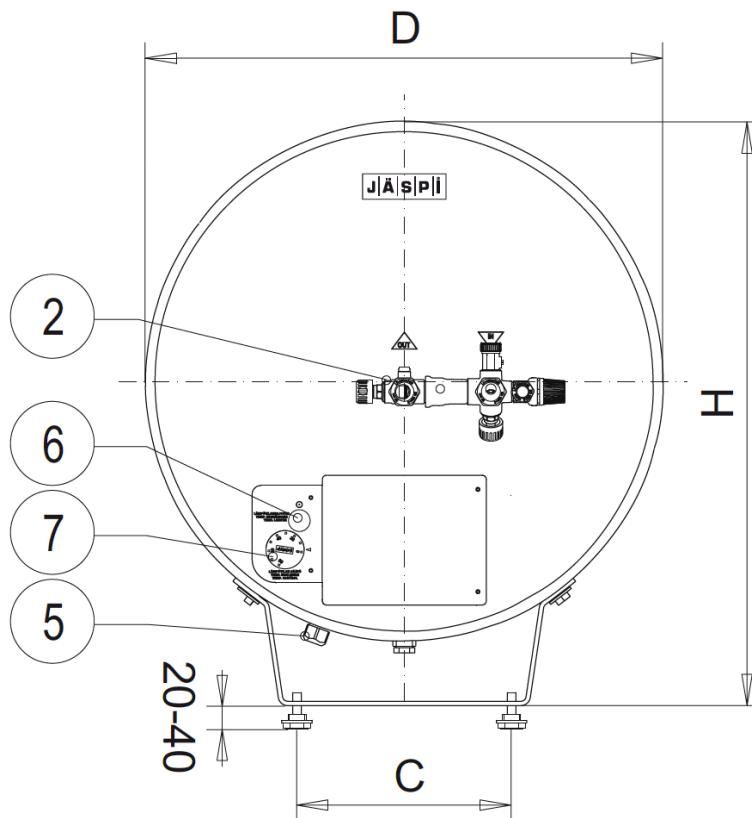
### 2.2.1 Varaajien yleinen rakenne

Varaajan rakenteisiin ja varusteisiin kuuluvat talotekniikan rakentamisen yleisten laatuvaatimusten (Rakennustieto 2002, 109) mukaisesti veden virtaussuunnassa sulkuventtiili, yksisuuntaventtiili, koetushana, lämmitysvastus, veroventtiili, painemittari (yli 300 dm<sup>3</sup>:n lämmittimissä), tyhjennyshana, sekoitusventtiili sekä sulkuventtiili.

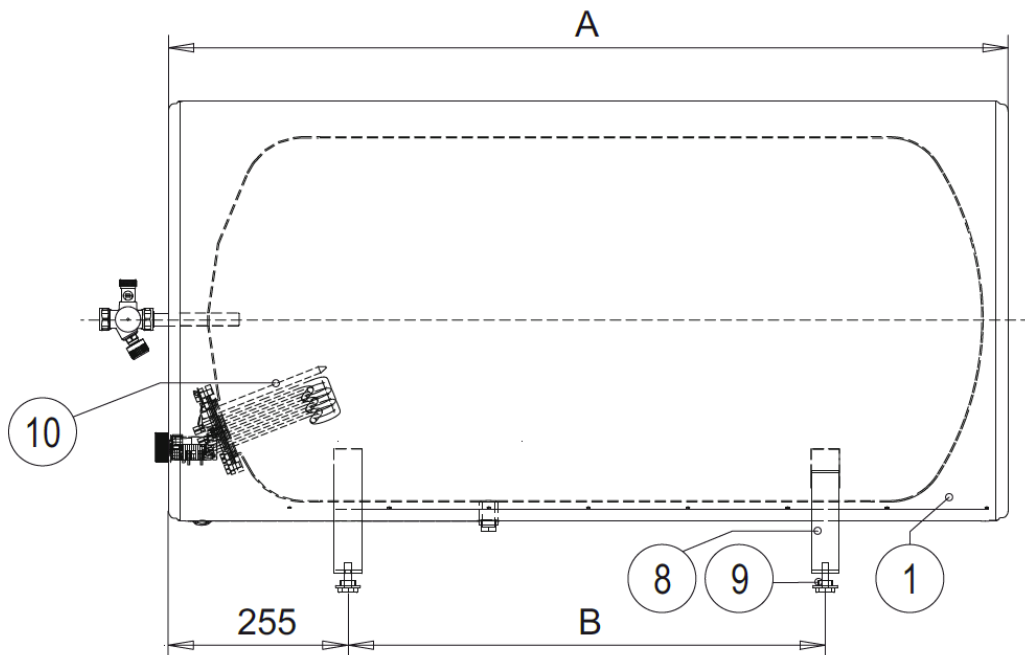
Kuvassa 13 on esitetty yhdellä lämmitysvastuksella varustetun 100-500 l moduulimallisen varaajamallin rakenne. Kuvassa 14 on vaakamallisen varaajan pääty. Kuva 15 esittää vaakamallisen varaajan sivuprofiilin.



**Kuva 13.** Yksinkertaisen vastuksella lämpiävän varaajan rakenne. Varaajan säiliö on koteloitu levyillä (12) ja kytkimet (10), termostaatti (8), varolaitteet (6), sähköliitin (7) sekä kylmän (5) ja lämpimän (4) käyttöveden yhteydet on sijoitettu säiliön alle. Vesi lämpiää säiliön sisään sijoitetulla vastuksella (11) ja kuuma vesi otetaan varaajasta sisäputkea (3) pitkin. (Kaukora 2013, 5.)



**Kuva 14.** Vaakamallinen varaaaja edestä. Alareunassa ovat vastukseen yhdistetty lämpötilanrajoitin (6) sekä termostaatti (7). Laitteen päytyyn on sijoitettu varolaiteryhmä ja sekoitusventtiili (2). Lisäksi kuvassa on sähkökaapelin läpivienti (5). (Kaukora 2013, 6.)



**Kuva 15.** Vaakamallinen varaaaja sivusta. Lämmitysvastus (10) on sijoitettu varaaajan alareunaan. Kuvassa on lisäksi laitteen säädettävät jalat (8 ja 9) sekä säiliötä ympäröivä RST-pintalevy.

Yleensä varaaja on varustettu yhdellä tai useammalla sähkövastuksella, joiden avulla tarvittava lämpötila pidetään yllä. Usein pystymallisessa lämminvesivaraajassa varsinaiset käyttöveden lämmitysvastukset on sijoitettu varaajan alaosaan ja yläosaan on sijoitettu lämpötilakerrostumisen mahdollistamiseksi käyttöveden lämmitysvastus. (Seppänen 2001, 253.)

Merkittävimpänä edistysaskeleena varaajien kehityksessä voitaneen pitää eristystä, jonka ansiosta varaajasta on tullut varteenotettava vaihtoehto lämmön varastointiin. RakMK D1 mukaisesti eristetään lämminvesilaitteiston vedenlämmittimet ja johdot, joissa vesi kiertää jatkuvasti. Eristämisellä ehkäistään lämpöhäviöitä ja veden lämpötila saadaan pysymään tasaisesti riittävän korkealla.

### **2.2.2 Varaajan toimintaperiaate**

Varaajan tarkoituksena on lämmön varastoiminen veteen. Varaajan malli riippuu sen käyttötarkoituksesta. Kyseessä on ns. epäsuora varaaja, jos käyttövesi ja lämmitysvesi lämmitetään samassa varaajassa ja käyttövesi tuotetaan ns. välillisellä kytkennällä. Tämä on yleensä käytäntö ns. korkealämpöjärjestelmässä eli lämmitysjärjestelmässä, jossa on käytössä vesikiertoinen patterilämmitys. Matalalämpöjärjestelmissä lämmityskiertoon riittää 30-45 °C, joka voidaan ottaa alemmista osista varaajaa ja lämmitteä ainoastaan varaajan yläosa käyttöveden vaatimaan lämpötilaan. (Seppänen 2001, 185.)

Tässä työssä tarkemmassa tarkastelussa olevana vaihtoehtona on ns. suora kytkentä, jossa käyttövesi tuotetaan erillisessä varaajassa. Tällöin rakennuksen lämmitys on toteutettu matalalämpöjärjestelmänä matalammilla veden lämpötasolla tai vaihtoehtoisesti muulla tavalla, kuten kokonaan suoralla sähkölämmityksellä.

Pelkästään sähköllä lämpiävä varaaja on yleisin pienissä kohteissa, kuten omakotitaloissa. Varaaja on yleensä paineistettu, ja jos sen suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 baaria, siihen sovelletaan Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaitteista (938/1999). Tällöin se määritellään painelaitteeksi ja se tulee varustaa varoventtiilillä. RakMK D1 mukaan vesilaitteiston on kestettävä sisäistä ylipainetta 1 000 kPa eli 10 bar. Yleisimmin varaajien suurin rakenteellinen paine on 10 baaria, jonka mukaisesti kaikki muutkin käyttövesikalusteet on suunniteltu kestämään.



Käyttövesiverkoston paine päävesimittarin jälkeen on yleensä 500 kPa. Korkeammille paineille tulee RakMK D1:n mukaan käyttää paineenalennusventtiiliä. Sähköisen varaajan yhteydessä ei kuitenkaan usein käytetä erillistä paisuntasäiliötä (Seppänen 2001, 257). Varoventtiilin tehtävänä on estää lämpötilan noustessa veden lämpölaajenemisesta johtuva paineen nousu varaajassa.

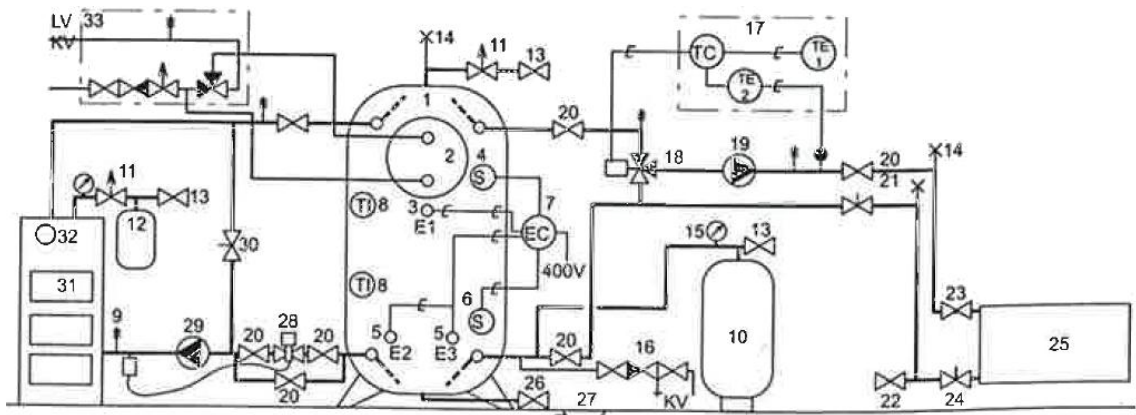
Mitä suurempi varaaja, sitä pienempitehoinen vastus tarvitaan ja päinvastoin. Myös lämpötilalla on vaikutusta ja mitä suurempi varaaja on kyseessä, sitä pienempi on tarvittava lämpötila saman lämmöntarpeen täyttämiseksi. Sähköisen varaajan vaatima sähköteho riippuu päivittäisestä kulutuksesta ja varaajan vesitilavuudesta. Pienemmissä varaajissa lämpötilaa saatetaan pitää jopa usein suhteellisen korkeana, jopa 85-90 °C:ssa varaustehon parantamiseksi tilanteissa, joissa lämpimän veden kulutus on runsasta. Tilavuudeltaan pienempi varaaja tarvitsee myös enemmän lataustehoa, jotta hetkellisesti tarvittava lämmin käyttövesi saadaan tuotettua. (Seppänen 2001, 253-257.) RakMK D1 luvun 2.3.10.3 mukaan varaajasta saadaan asuntokohtaisesti riittävä määrä vettä kun sen tilavuus on 300 l ja teho vähintään 3 kW.

Sähköinen varaaja lämmitetään usein automatiikan avulla käyttäen yösähköä, jolloin sähkön tariffi on edullisempi. Yösähköllä lämmitettäessä lämpötila nostetaan hieman korkeammaksi, jotta lämmintä vettä riittäisi koko päivän ajalle. Varaaja on ns. täysin varaava, kun lämmitys tapahtuu ainoastaan yöaikaan ja osittain varaava, kun varaajan vettä lämmitetään myös päiväsaikaan tarpeen mukaisesti. (Leino 1999, 12.) Yösähkön osuudeksi sähkölämmitteisen järjestelmän mitoituksessa valitaan usein jopa 80-90 % (Seppänen 2001, 368).

RakMK D5 kohdan 9.7.2 mukaisesti varaajan latausteho ja varauskyky mitoitetaan käyttämällä vuorokauden keskimääräistä kulutusta, kun vertailun vuoksi luvussa 5.4 määritetään hetkellinen tehontarve. Mitoitusteho on keskimääräisellä kulutuksella tällöin merkittävästi pienempi.

Edellä esitettyjen tavanomaisten varaajien lisäksi kuvassa 16 on havainnollistettu ns. epäsuoran lämminvesivaraajan toimintaa. Varaajaan ladataan lämmintä vettä ulkopuolelta lämmityskattilasta (31), jonka lisäksi varaajassa on sähkövastukset (3 ja 5), jotka on lämpötilaohjattu (7) termostaattien avulla (4 ja 6). Latauspumppu (29) syöttää kylmän veden lämmityskattilaan, josta vesi johdetaan varaajan yläosaan. Varaajasta

lämpö siirtyy käyttövedeen lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimellä (2) ja vesi edelleen käyttövesiverkostoon sekoitusventtiilin läpi. Lämmityspattereille lämmin vesi pumpataan (19) lämpötilaohjatun (17) sekoitusventtiilin (18) läpi ja kierrätetään takaisin varaajaan. Sekä lämmityskattila että varaaja on varustettu paisuntasäiliöillä (10 ja 12) sekä ilmauksella (13 ja 14). (Harju 2010, 171-172.)



**Kuva 16.** Varaajan kytkeytyminen lämmitysjärjestelmään lämmityskattilan rinnalla (Harju 2010, 171).

### 2.2.3 Varaajan käytössä ja toiminnassa huomioon otettavia yksityiskohtia

Varaaja aiheuttaa aina myös vesivahinkoriskin, koska säiliö on altis puhkuruostumiselle. Pinnoitemateriaalien kestävyttä ja hygieniavaikutuksia sekä uusien materiaalien kehitystä on tutkittu Suomessa, jossa paikallisen veden laatu eroaa hieman muiden maiden vastaavasta. Imatran Voima selvitti vuosituhanen vaihteessa varaajien suoritusarvoja ja kestävyyteen vaikuttavia tekijöitä sekä kartoitti vesivahinkoriskiinkin liittyviä seikkoja. Tutkimus toi esille puutteita varaajien huoltotoimenpiteistä ja käyttöveden laadun aiheuttamista puhkisyöpymisistä. (Leino 1999, 2.) Jos varaaja on sijoitettu lattiakaivottomaan tilaan, tulee sen kuntoon kiinnittää erityistä huomiota ja ainakin mahdollisen vuodon havaitsemista helpottavan altaan käyttäminen varaajan alla on suositeltavaa (Määttä ja Kaunisto 1997, 34). Lisäksi varoventtiilin kautta purkautuva vesi olisi hyvä ohjata suoraan viemäriin, lattian kautta ohjaamisen sijaan, turhien kosteusongelmien välttämiseksi.

Sijoituksessa on hyvä huomioida läheisyys käyttövesipisteisiin lämpöhäviöiden ja turhan energiankulutuksen minimoimiseksi. Lisäksi varaaja olisi hyvä sijoittaa kuivaan tilaan. (Leino 1999, 28.)

#### **2.2.4 Varaajan säiliön materiaalivalintojen vaikutukset käyttöveteen**

Tavanomaisessa varaajassa vastus on sijoitettu usein suoraan vesitilaan paremman hyötysuhteen saavuttamiseksi, mutta kääntöpuolena ovat tällöin saostumat. Vastuksen ympärille voi ajan kuluessa muodostua suolapitoisen veden vaikutuksesta ns. kattilakiveä, joka toimii eristeenä ja kuumentaa vastusta alentaen sen lämmönsiirtokykyä. Kattilakivi aiheutuu kalsium- ja magnesiumsuolojen saostumisesta lämpöpinnalle. Näiden suolojen määrä ilmaistaan veden kovuutena; mitä suurempi suolapitoisuus, sitä kovempaa vesi on. Kovuuden asteikkona käytetään yleisesti saksalaista °dH-asteikkoa. Talousvesiasetuksessa (461/2000), jolla säädetään talousveden laatuvaatimuksia ja valvontatutkimuksia, ei ole kuitenkaan annettu pitoisuusmääräyksiä veden kovuuden suhteen (Keinänen-Toivola et al. 2007, 77). Kattilakiveä muodostuu enemmän korkeammassa lämpötilassa, joten varaajan lämpötilan pitäminen vaadittua yli 55 °C:n lämpötilaa korkeampana on siltä osin haitallista. Nykyisin vastukset on valmistettu haponkestävästä teräksestä, jolloin niiden kestävyys on parempi. Vastus voi olla myös sijoitettu esim. säiliön pinnan ulkopuolelle tai se voi olla metallikuoren sisään sijoitettu ns. kilpivastus.

Veden magneettikäsittelyä on tutkittu 80-luvulta alkaen, mutta menetelmän toimivuus on myös usein kyseenalaistettu ja ristiriitaisena aiheena se on usean tahon toimesta leimattu perättömäksi. Uudemmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että magneettikäsittelyä hyödyntämällä kalsiumsaostumia saadaan vähennettyä jopa 30-40 %. (Smith et al. 2000, 231-233). VTT:n InSert-hankkeessa kemikaalitonta muuttuvataajuuksista magneettikenttää hyödyntävää vedenkäsittelylaitetta testattiin käyttövesilinjassa ja mitatut tulokset sekä käyttäjätyytyväisyyskyselyt osoittivat sakkautumisen vähentyneen selvästi. Vesi johdetaan laitteen läpi ja magneettikenttä kiteyttää vedessä olevat mineraalit pieniksi kiteiksi, jotka eivät tartu vesikalusteisiin, lämmönvaihtimeen tai putkistoon. (Paiho et al. 2009, 55-59.)

Pinnoitusmateriaali on merkittävämpi tekijä säiliön kulumisen sekä veden laadun kannalta, kuin energiatalouden osalta. Kuten RakMK D1:ssä kohdassa 2.3.3 on määrätty, on vesilaitteisto oltava sellainen, ettei materiaaleista irtoa tai liukene liikaa veteen haitallisia, vaarallisia aineita tai muita veden laatua huonontavia aineita. Putkistojen kohdalla kulumiseen vaikuttavat merkittävimmin käyttöolosuhteiden osalta virtausnopeus, veden seisominen ja lämpötila (Määttä ja Kaunisto 1997, 29). Virtausnopeus ei ole varaajassa ongelma, mutta veden seisominen ja lämpötila ovat haasteellisia pinnoitemateriaalien keston kannalta.

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytettävän laitteiston ja putkiston materiaali on oltava korroosionkestävää veden happipitoisuuden vuoksi (Seppänen 2001, 253). Korroosiolla tarkoitetaan sähkökemiallisen ja kemiallisen vaikutuksen aiheuttamaa yleensä metallisten materiaalien tuhoutumista. Korroosiosuojausmateriaalina voi olla paljon käytetty ruostumaton teräs tai vaihtoehtoisesti säiliö voidaan pinnoittaa emalilla tai vuorata kuparilla. (Harju 2010, 117.)

Ruostumattomasta teräksestä valmistettu varaaja ei tarvitse suoja-anodia, sillä säiliön pinta passivoituu hapettumisen seurauksena happirikkaan veden vaikutuksesta muodostaen syöpymiseltä suojaavan passivoituneen kromioksidikerroksen. Pinnan vaurioituessa passivoituminen tapahtuu uudelleen. Pistekorrosio saattaa olla ruostumattoman teräksen kohdalla merkittävä ongelma vahvasti kloridipitoisissa vesissä (50-80 mg/l). (Leino 1999, 7-8 ja 36.) Molybdeeniseosteinen ruostumaton teräs (2-3 % molybdeeniä), joka tunnetaan haponkestävänä teräksenä, ei sen sijaan ole niin herkkä pistekorrosiolle (Kekki et al. 2007, 50). Molybdeeni voi myös liueta veteen ja estää biofilmiä eli mikrobikasvun muodostumista. Ihmiselle molybdeeni on välttämätön hivenaine, mutta tarpeellinen vain pieninä pitoisuuksina. (Keinänen-Toivola et al. 2007, 54.)

Eristyksen lisäksi toinen merkittävä innovaatio on ollut emalipinnoite, joka on tällä hetkellä myös selvästi yleisin varaajan pinnoitusmateriaali. Pinnoitteiden kehittyminen on pidentänyt merkittävästi myös laitteiden elinkaarta. Emali on lasinen kova materiaali. A.O. Smith kehitti vuonna 1936 ensimmäiset lasivuoratut varaajat, joiden kaupallistuminen lähti toden teolla käyntiin 1950-luvulla. Kyseisen nimen alla valmistetaan ja myydään edelleen lämminvesivaraajia. (George 2012, 42.) Emalipinnoitteisen varaajan korroosiosuojaus perustuu katodiseen suojaukseen suoja-

anodilla. Vedessä kahden metallin välille muodostuu jännite-ero ja niiden sijoittuminen sähkökemiallisessa jännitesarjassa määrää sen, kumpi näistä syöpyy ja uhrautuu epäjalompana. (Leino 1999, 7-8.) TalotekniikkaRYL:n (Rakennustieto 2002, 109) mukaan epäjalompana käytetään magnesiumia tai muuta vastaavaa metallia. Puhtaan alumiinin käyttö on kuitenkin kielletty. Emalipinnoitus vaatii siten vedeltä sähkönjohtavuutta. Käytännössä veden keskimääräinen sähkönjohtavuus, 20 mS/m, on riittävä veteen liuenneiden suolojen ionien johdosta. Talousvesiasetuksessa (461/2000) sähkönjohtavuudelle on asetettu raja-arvoksi 250 mS/m, jonka saavuttaminen on talousvedelle harvoin ongelmallista (Keinänen-Toivola et al. 2007, 72). Veden sähkönjohtavuuden ollessa 30-100 mS/m, on katodinen suojaus riittävä. Sähkönjohtavuuden ollessa yli 10 mS/m korroosiosuojaus voidaan toteuttaa pinnoitteella tai elektrolyyttisesti (Rakennustieto 2002, 109).

Kuparivuorauksessa kupari on suhteellisen jalo alkuaine ja sen korroosionkestominaisuudet ovat hyvät, tosin vain valikoiduissa puhtaissa vesissä (Leino 1999, 7-8). Kuparin liukeneminen voi olla ongelma erittäin pehmeissä ja aggressiivisissa vesissä. Kuparin enimmäismääräksi on asetettu talousvesiasetuksessa (461/2000) 2,0 mg/l. Sen aiheuttamat haitat ovat kuitenkin lähinnä kosmeettisia ja harvoin terveydelle haitallisia. (Kekki et al. 2007 71-72.) Kuparin liukenemisella on kuitenkin havaittu olevan myös antibakteerisia vaikutuksia erityisesti legionella-bakteeria vastaan. Kiinteistöikäytössä kupari on myös suosittua kylmä- ja lämminvesiputkien materiaalina korroosionkestävyyden lisäksi lujuuden, taipuisuuden sekä juotettavuuden ansiosta. (Keinänen-Toivola et al. 2007, 46.)

Myös muovia on kokeilta varaajan pinnoitteena. Muovipinnoitteisista varaajista ja niiden puhkisyöpymisestä on kuitenkin huonoja kokemuksia 1980-luvulla. Terässäiliöitä korroosiosuojattiin muovilla, joka ei korkeiden lämpötilojen vuoksi kestänyt viittä vuotta pidempään kun varaajan säiliön odotettavissa oleva käyttöikä pitäisi olla lähempänä 20 vuotta. (Määttä ja Kaunisto 1997, 34.)

### **3 VARAAJAN TOIMINTAAN KOHDISTUVAT VAATIMUKSET JA TULEVAT HAASTEET**

Varaajia koskeva lainsäädäntö on aina viime vuosiin asti ollut vajavaista. Alati kehittyvä lainsäädäntö kuitenkin asettaa uusia vaatimuksia varaajan toiminnalle. Tulevat ekosuunnitteluvaatimukset ja energiamerkintäpakko ohjaavat varaajan suunnittelua energiatehokkaampaan suuntaan.

Varaajalla lämmitetään käyttövettä, jonka laadulle on asetettu tarkat vaatimukset. Lämpötilan hallinta on oleellinen osa niin hygieniaa kuin taloudellisuuttakin. Laadukkaan veden takaaminen on ensisijaisen tärkeää ja se tulee ottaa huomioon myös tarkasteltaessa käyttövettä kokonaisenergiataloudellisesta näkökulmasta.

Lämpimän veden tuotannon energiatehokkuuteen ei yleisesti ottaen kiinnitetä suurta huomiota ja rakennettaessa uusia rakennuksia jäävät vaihtoehtoiset ratkaisut yleensä hyödyntämättä, varsinkin jos rakennuttajana toimii eri taho kuin asunnon käyttäjä (Kemna et al. 2007, 1). Perustajaurakoitsijat eli ns. grynderit saattavat turhan usein pyrkiä rakentamaan mahdollisimman halvalla kiinnittäen huomiota enimmäkseen investointikustannuksiin.

Varaajiin kohdistuvat vaatimukset ja ohjeistukset ovat veden laatuvaatimusten osalta lainsäädännöllisesti heikosti määriteltyjä. Niiden energiatehokkuuteen liittyvistä mahdollisista tehostamistoimenpiteistä ei ole annettu perusteellista ohjeistusta. Uudisrakentamista ohjataan Suomen rakentamismääräyskokoelman avulla. Siinä annetut määräykset ovat velvoittavia ja ohjeet suosituksia, joista voidaan poiketa jos käytetyt menetelmät ovat muutoin rakentamiselle asetettujen vaatimusten mukaisia. Tulevan CPDW- tuotehyväksyntämenettelyn myötä juomaveden kanssa kosketuksissa oleville laitteille tullaan asettamaan EU-direktiivien mukaisesti yhtenäisiä laatuvaatimuksia.

#### **3.1 Tulossa olevat energia- ja tuotehyväksyntävaatimukset**

Ekosuunnittelu- ja energiamerkintäasetusten voimaantulot ovat merkittävimpiä muutoksia varaajia koskevan lainsäädännön osalta. Ne asettavat vaatimuksia varaajien

suorituskyvyille, suunnitteluun ja markkinointiin. Tuotehyväksyntä tulee koskemaan varaajia, siten kun ne lasketaan juomaveden kanssa kosketuksissa oleviksi rakennustuotteiksi.

### **3.1.1 Ekosuunnittelu ja energiamerkintä**

EcoDesign-direktiivi (2009/125/EY) on ns. puitedirektiivi eli se ei ole valmistajia tai maahantuojia velvoittava ennen kuin tuotteelle on laadittu Euroopan komission johdolla tuoteryhmäkohtaiset vaatimukset. Sen nojalla merkittävää myyntivolyymiä edustaville, energiaa käyttäville tuotteille tulee asettaa ekosuunnitteluvaatimuksia, joilla on merkittäviä mahdollisuuksia parantaa ympäristövaikutuksia tuotesuunnittelun avulla ilman kohtuuttomia kustannuksia. Direktiivi koostuu tuoteryhmistä, jotka koskevat rakennusten energiankäyttöä. Energiamerkintädirektiivi (2010/30/EY) on myös puitedirektiivi ja se koskee tuotteisiin kiinnitettävää energiamerkkiä, joka osoittaa laitteen käytönaikaisen energiankulutuksen asteikolla A-G. (Ympäristöministeriö 2011b, 17-18.)

Edellä mainittujen direktiivien nojalla on annettu vedenlämmittimien ja kuumavesisäiliöiden ekologista suunnittelua koskeva asetus (EU 814/2013) sekä asetus vedenlämmittimien, kuumavesisäiliöiden ja vedenlämmittimistä ja aurinkolämpölaitteesta koostuvien kokoonpanojen osalta (EU 812/2013). Näistä käytetään jatkossa nimityksiä ekosuunnitteluasetus sekä energiamerkintäasetus. Lämminvesivaraajien osalta lopullisten kansainvälisten asetusten ja säädösten julkaiseminen on ollut vireillä pitkään, jo 90-luvulta asti (Leino 1999, 27).

Lämpimän veden tuotanto ja varastointi vastaa arviolta n. 3 % osuutta EU-alueen kokonaisenergiankulutuksesta. EcoDesign-direktiivin sekä ekosuunnittelu- ja energiamerkintäasetusten myötä tavoitteena on vähentää 2 156 PJ:n kokonaiskulutuksesta 450 PJ vuoteen 2020 mennessä ja näin vastata osaltaan ilmasto- ja energiapaketin mukaisesta 20 % vähennystavoitteesta energian loppukulutuksesta sekä 20 % energiatehokkuuslisäyksestä.

Ekosuunnitteluvaatimukset edellyttävät tiettyä tasoa vedenlämmittimien energiatehokkuudelle. Varaaville vedenlämmittimille tulee määrittää erinäiset suorituskykyä osoittavat, luvussa 4.1.1 tarkemmin määritellyt, tunnusluvut kuten

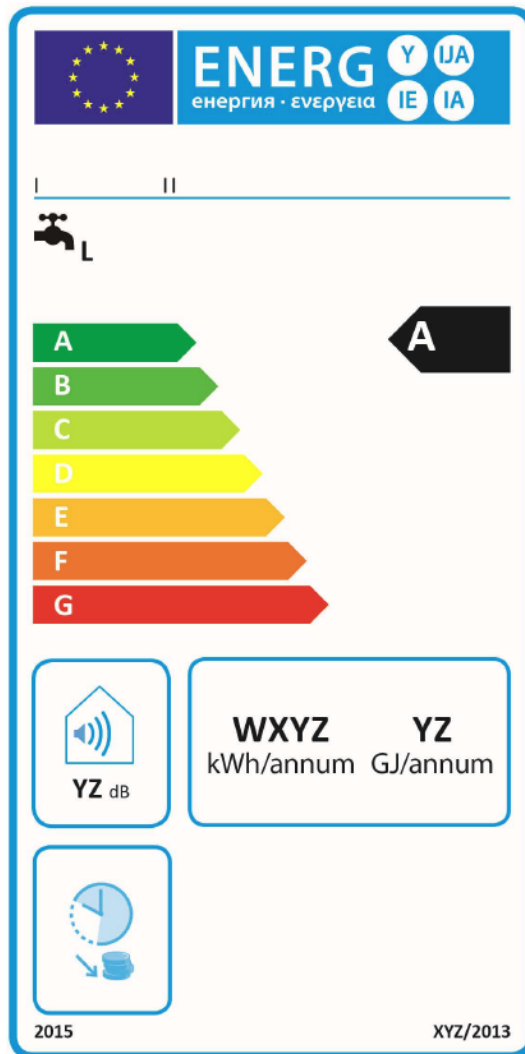
energiatehokkuus, sähkönkulutus ja lämpimän veden saanto. Viimeisin lisättiin asetukseen, jotta voidaan taata käyttötarkoituksen mukainen riittävä vedensaanti sekä estää kuormitusprofiilien aliarviointi laitteiden testauksessa (European Commission 2012, 6). Ekosuunnitteluasetuksen avulla lämminvesivaraajien suunnittelua ohjataan energiatehokkaampaan suuntaan raja-arvojen avulla. Raja-arvojen tiukentumiset on porrastettu 2-5 vuoden ajanjaksolle. Alimman tason vaatimukset tulee täyttää kahden vuoden kuluttua. Neljän vuoden kuluttua määräysten voimaantulusta hyötysuhdevaatimukset nousevat ja vielä viidennen vuoden jälkeen suurimpien 2XL:n ja 4XL:n kokoluokkien varaajien vaatimuksia nostetaan entisestään. Asetus kattaa vedenlämmittimet aina 400 kW:n tehoon ja 2 000 litran tilavuuteen asti. Ekosuunnitteluasetus olisi alkuperäisessä ehdotetussa muodossaan kieltänyt yli 300 litran varaajat Euroopan markkinoilla. Tämä olisi osaltaan vaikeuttanut yösähkön käyttöä ja kulutushuippujen tasaamista eli aiheuttanut ongelmia erityisesti Suomen kaltaisissa olosuhteissa. (Kumpuvaara 2012, 4.)

Siirtymäajat ovat yhtenäiset ekosuunnitteluvaatimusten sekä energiamerkintöjen osalta ja ne kestävät vähintään kaksi vuotta säädösten voimaantulon jälkeen. Energiamerkinnät tulee kiinnittää niihin tuotteisiin, joille on annettu tuoteryhmäkohtainen energiamerkintäsäädös. Energiamerkinnän käyttö on siirtymäajan jälkeen pakollista. Merkinnän käyttö antaa kuluttajalle paremmat mahdollisuudet vertailla varaajien energiatehokkuutta, kun tähän asti tietoa ei ole juuri ollut saatavissa.

Energiamerkinnän edellyttämien mittausten osalta käyttöveden lämmityslaitteiden asetusehdotusten mukaisissa energiatehokkuuslaskuissa jakeluhäviöt ja jäteveden lämmöntalteenotto jätettiin jäsenvaltioiden yhteisymmärryksessä laskennan ulkopuolelle. Mittausten suorittamiseksi suositellaan asiaankuuluvaa harmonisoitua standardia tai muuta hyväksi todettua laskentatapaa. (European Commission 2012, 5.)

Energiamerkintäasetus aiheuttaa muutoksia varaajan merkintöihin. Laitteeseen kiinnitettävään energiamerkintään tulee merkitä kuvan 17 mukaisesti ilmoitetun kuormitusprofiilin mukainen luokitus [3XS-4XL], energialuokka [A-G], vuosittainen sähkönkulutus [kWh/a], äänitehotaso [dB] lämpöpumpulla varustetuille varaajille sekä maininta jos laite toimii ainoastaan huippukuormituksen ulkopuolella.





**Kuva 17.** Energiamerkintämallin pohja vedenlämmittimille energiamerkintäasetuksen (EU 812/2013) mukaisesti.

Eräiden tuoteryhmien kohdalla markkinoilla olevien laitteiden energiamerkinnät asettuvat asteikon kärkipäähän esim. A:sta C:hen. Näiden tapausten johdosta vaihtoehtona on esitetty ns. skaalautuvan asteikon käyttämistä, jossa huonoimman arvon saisi vähiten energiatehokas ja parhaan arvon ns. ”state-of-the-art” –laite. Myös muiden indikaattorien, kuten hiili- ja vesijalanjäljen integroimista osaksi energiamerkintää, on suunniteltu. (Grönroos-Saikkala 2013)

### 3.1.2 Tuotehyväksyntä ja CE-merkintä

Juomavesidirektiiviin (98/83/EC) ja rakennustuotedirektiiviin (89/196/EEC) pohjautuva juomaveden kanssa kosketuksissa olevien rakennustuotteiden tuotehyväksyntä (CPDW, Construction Products in contact with Drinking Water) on ollut valmisteilla jo vuodesta 1999 ja on edelleen kesken. Rakennustuotedirektiivin mukaisesti tuotteiden hyväksyntä tullaan toteuttamaan CE-merkinnällä. (Vesi-Instituutti Wander 2013.) Koska käyttövesivaraajat ovat kosketuksissa juomaveden kanssa, tulevat ne myös kuulumaan lainsäädännön piiriin näiltä osin. Jos tuotteeseen kohdistetaan vaatimuksia useasta eri direktiivistä, tulee valmistajan huolehtia näiden täyttymisestä ennen CE-merkinnän kiinnittämistä (Ympäristöministeriö 2011b, 13). Epäsuorasti lämmitetyn alle 1 000 l varaajan ominaisuuksia määrittelevä standardi (SFS-EN 12897:2007), viittaa jo materiaalien vaikutusten vaatimuksien osalta CPDW:n asettamiin ehtoihin. Ennen niiden hyväksymistä nojaututaan kuitenkin kansallisiin säännöksiin. Direktiivin 92/42/EEC mukaisesti nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta käyttäville kuumavesikattiloille on jo aikaisemmin pitänyt olla CE-merkintä.

Tuotehyväksynnän tarkoituksena olisi taata kuluttajille turvallinen talousvesi ja edistää EU:n sisäisiä markkinoita. Suomessa ei ole asetettu kansallisia vaatimuksia juomaveden kanssa tekemisissä oleville materiaaleille sinkinkadon kestävyysvaatimusta lukuun ottamatta, kun sen sijaan EU:n alueella Saksassa, Iso-Britanniassa, Ranskassa, Tanskassa sekä Hollannissa on voimassa kansallisia hyväksymismenettelyjä. (Vesi-Instituutti Wander 2013.) RakMK D1:ssä annettu määräys sinkinkadon kestävydestä ei kuitenkaan sisällä raja-arvoja. RakMK D1 ohjeistuksen mukaisesti messinkiosat tehdään veden koskettamilta osiltaan sinkinkadon kestäviksi ja vesikalusteissa sinkinkato sallitaan vähäisessä määrin. Tuotehyväksyntämenettelyn perustana tulee olemaan hyväksytyjen metalliseosten listaus, jonka pohjalta arvioidaan ja testataan niiden soveltuvuus juomavesikäyttöön (Kaunisto 2013).

Varaajille kuten muillekaan juomaveden kanssa kosketuksissa oleville laitteille, ei ole ainakaan toistaiseksi olemassa harmonisoitua eli yhdenmukaistettua tuotestandardia (hEN). CE-merkintä on tällöin saatavissa eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) kautta. ETA on vapaaehtoinen tekninen arviointi, josta hyväksynnän voi myöntää eurooppalainen, tehtävään nimitetty hyväksyntälaitos. CE-merkinnän myöntäminen

tapahtuu harmonisoidun tuotestandardin tai ETAn pohjalta suoritustason pysyvyyden arvioinnin ja varmentamisen jälkeen. (Ympäristöministeriö 2011b, 11-12.)

CE-merkintä on valmistajan osoitus siitä, että tuote on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (765/2008/EY) mukaisesti yhteisön yhdenmukaistamislainsäädännössä asetettujen sovellettavien vaatimusten mukainen, eli kyseistä tuotetta koskevan direktiivin mukainen. Merkintä ei kuitenkaan suoraan takaa esim. tuotteen soveltuvuutta juomavesikäyttöön Suomessa, koska kansallisissa rakentamismääräyksissä voi olla eroavaisuuksia. CE-merkintä mahdollistaa tuotteen vapaan markkinoinnin Euroopan unionin ja Euroopan talousalueen sisällä. Osalle rakennustuotteista CE-merkintä on ollut pakollinen 1.7.2013 alkaen. Tämän EU:n rakennustuoteasetuksen pakollisen tuotehyväksynnän ulkopuolisten tuotteiden kohdalla voidaan soveltaa kansallista hyväksyntää kuten tyyppihyväksyntää, varmennustodistusta tai tehtaan laadunvalvontaa.

Sähkölaitteilla CE-merkintä on ollut käytössä EU:n markkinoilla tuotteiden vapaan liikkuvuuden takaamiseksi jo pidempään. Merkinnän myötä valmistaja osoittaa laitteen olevan valmistettu vaatimusten mukaisesti, mikä osoitetaan vaatimustenmukaisuustodistuksessa. Viranomaisten valvontaa varten vaaditaan lisäksi tekninen tiedosto, joka sisältää kuvauksen laitteesta, suunnittelupiirustukset sekä kaaviot komponenteista. Sähkölaitteiden kohdalla merkinnän kiinnittäminen ei edellytä kolmannen osapuolen testausta. CE -merkintä edellyttää sähkölaitteilta myös sähkömagneettisen yhteensopivuuden (EMC) sekä pienjännitedirektiivin (LVD) vaatimusten täyttymistä. (Tukes 2013.)

## **3.2 Voimassa oleva varaajan toimintaa koskeva lainsäädäntö**

Euroopan Unionin tasolla laajemmassa mittakaavassa energiatehokkuuden lainsäädännön perustana on Energiatehokkuusdirektiivi (EED, 2012/27/EU), joka kattaa energian tuotannon ja käytön. Sen tavoitteena on EU:n vuodeksi 2020 asettaman 20 % energiatehokkuuden parantamisen saavuttaminen. Direktiivi tulee saattaa kansallisesti voimaan 5.6.2014 mennessä. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivillä (2010/31/EU) näihin tavoitteisiin tähdätään rakennusten energiatehokkuuden kautta.

Suomen rakentamismääräyskokoelma ohjaa uudisrakentamista Suomessa myös energiankäytön osalta. Siinä annetut määräykset ovat velvoittavia. Niissä viitataan usein kansainvälisiin standardeihin ja varaajien toimintaa käsittelevien standardien määrä onkin kattava, sisältäen dokumentit jokaiselle lämmintä vettä varaavalle varaajatyypille erikseen. Käyttövedelle on myös asetettu laatuvaatimuksia ensisijaisesti RakMK D1:n määrittämien lämpötilatasojen kautta.

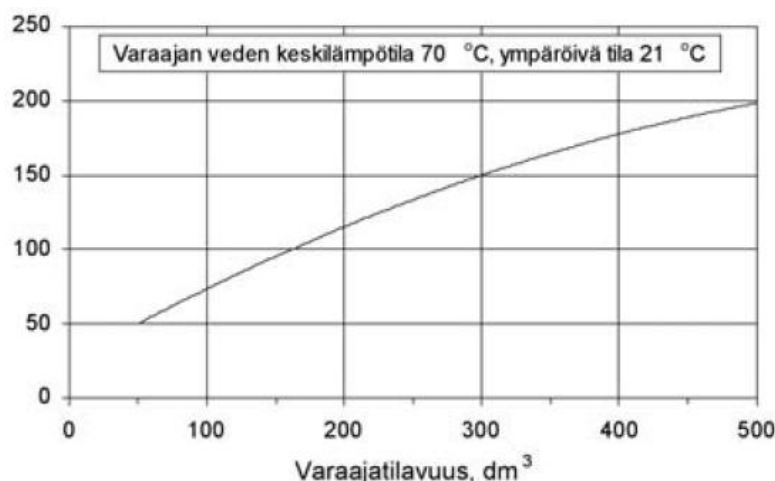
### **3.2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi**

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010/31/EU) edellyttää energiatehokkuuden parantamista niin uudis- kuin korjausrakentamisessa. Sen tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen energiatehokkuutta parantamalla. Direktiivin merkittävimmät kohdat ovat energiatodistuksen käyttöönotto, energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset sekä lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset on toimeenpantu maankäyttö- ja rakennuslain sekä -asetuksen muutosten myötä Suomen rakentamismääräyskokoelman kautta.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin myötä energiatodistuksen painoarvo on kasvanut ja sitä edellytetään rakennuksen myynti- ja vuokrausilmoituksissa. Direktiivin johdosta vuoden 2020 loppuun mennessä uusien rakennusten tulee olla ns. nollaenergiarakennuksia. Rakennuksen vuosittainen nettoenergiatarve on tällöin oltava 0 kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK)

RakMK D1:n osalta energiatehokkuusohjeistukseksi voidaan laskea määräys pitää vesikalusteesta saatavan veden lämpötila 55-65 °C:n välillä. D1:ssä on lisäksi ohjeistettu maksimi-arvot varaajan lämpöhäviöille kuvan 18 mukaisesti. Järjestelmän osalta varaajasta sekoitusventtiiliin johtavan putken tulee olla metallinen.



**Kuva 18.** RakMK D1 luvun 2.3.8.1 mukaiset varaajan suurimmat ohjeistetut lämpöhäviöt tilavuuden funktiona.

RakMK D3 mukaisesti uudisrakennuksille lasketaan kokonaisenergiankulutus, E-luku, joka vastaa rakennuksen standardikäyttöä, eli rakennuksen vakioitua käyttöä. Todellinen käyttö kuitenkin eroaa standardikäytöstä käyttäjistä riippuvista muuttujista. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu edellä mainitulla standardikäytöllä muodostuva ostoenergiankulutus eli rakennuksen ulkopuolelta tuleva energia lämmitettyä nettopinta-alaa kohden [kWh/m<sup>2</sup>]. Käyttöveden lämmitykseen saatava ostoenergian ulkopuolelinen energia kuten lämmöntalteenotto tai aurinkolämpö parantaa talon kokonaisenergiankulutusta eli E-lukua.

RakMK D5:ssä annetaan tarkemmat ohjeet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan RakMK D3:n tarvitsemien arvojen määrittämiseksi.

RakMK:n D-osa kokonaisuutena käsittelee LVI:tä ja energiataloutta. RakMK D7 koskee nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita käyttävien kuumavesikattiloiden hyötysuhdevaatimuksia.

### 3.2.3 Varaajan toimintaa käsitteleviä standardeja

Lämminvesivaraajien ominaisuuksien määrittämiseksi sovellettavia standardeja on useita. Standardi EN 60379, joka tulee korvautumaan standardilla EN 50440, on tarkoitettu kotitalouskäyttöön soveltuvien sähköisten käyttövesivaraajien suorituskyvyn, kuten lämpöhäviöiden, ilmoitetun kapasiteetin varmistukseen, lämpimän veden saantiin sekä termostaatin toiminnan määrittämiseen. Standardia ei kuitenkaan sovelleta muita energianlähteitä kuten aurinkoa hyödyntäviin varaajiin, lämpöeristämättömiin varaajiin, eikä ratkaisuihin, joissa lämmitetään kahta eri tilavuutta/säiliötä. Tähän standardiin on tukeuduttu soveltuvasti tässä työssä ekosuunnitteluasetuksen vaatimien testien suorittamisessa.

Oleellisimmat varaajia koskevat standardit on koottu SFS-ICS luokittelun alle koodilla *91.140.65 Kuumavesivaraajat*. Taulukkoon 1 on koottu yhteen näiden lisäksi muita oleellisimpia varaajan toimintaan liittyviä standardeja.

**Taulukko 1.** Tavanomaisen lämminvesivaraajan toimintaan liittyviä oleellisia standardeja.

Numero	Määritelmä	Lisätiedot
<b>Energia</b>		
15316-3-1	Energiavaatimusten laskenta	Energiantarpeen määrittäminen
15316-3-2	Energiavaatimusten laskenta	Lämpimän käyttöveden siirtolaitteistot
15316-3-3	Energiavaatimusten laskenta	Lämpimän käyttöveden tuottolaitteistot
<b>Testaus</b>		
60379	Suorituskykytestaus	Kotitalouskäyttöön tarkoitetut varaajat
50440	Suorituskykytestaus	Korvaa EN 60379:n
<b>Sähkö</b>		
60335-2-21	Turvallisuusvaatimukset	Lämminvesivaraajat yleisesti
60335-2-73	Turvallisuusvaatimukset	Kiinteällä sähkövastuksella varustettu varaaja
61000	Sähkömagneettinen yhteensopivuus / Asennusvaiheen häiriöiden minimoiminen	Sähkölaitteet (varaaja)
55014-1	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC), päästöt	Sähkölaitteet (varaaja)
55014-2	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC), häiriönsieto	Sähkölaitteet (varaaja)
50564	Valmiustilan kulutus	
<b>Muut</b>		
1490	Yhdistetty lämpötilan ja paineen varoventtiili	
1567	Paineenalennusventtiilit	
1717	Takaisinimusuojaus	
12098-1	Lämpötilan säätö ulkolämpötilan mukaan	Vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä
12098-2	Vesilämmityksen start-stop - automaatiikka	Vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä
14395	Aistinvarainen arviointimenetelmä veden laadun testaukseen	Vesisäiliöt
60730-2-9	Automaattiset sähköiset ohjaukset	Varaajan sähkövastus

Varaajat, jotka on varustettu sähkövastuksella, luokitellaan sähkölaitteiksi ja niiden tulee täyttää myös yleisen sähköturvallisuuden osalta standardien mukaiset vaatimukset. Lisäksi sähkömagneettisten häiriöpäästöjen ja häiriönsiedon testaukselle on olemassa standardit (SFS-EN 55014-1:2007 ja SFS-EN 55014-2:2009). Sähkölaitteen asennuksesta ja varolaitteista on säädetty sähköturvallisuuslaissa (410/1996).

Osana tuotehyväksyntää, jota on käsitelty kappaleessa 3.1.2, tulee olemaan standardi (SFS-EN 14395-1:2005), jonka mukaisesti vesisäiliöissä orgaanisten materiaalien kanssa kosketuksiin joutuvaa vettä testataan aistinvaraisesti hajujen, makujen, värin sekä sameuden osalta.

Huomionarvoista on myös, että niin kauan kun tuotteella ei ole harmonisoitua tuotestandardia eikä täten CE -merkintäpakkoa, voidaan standardeja soveltaa kulloinkin tilanteeseen sopivimmalla tavalla. Esimerkiksi ruotsalainen testaus- ja sertifiointiorganisaatio SP on testannut lämminvesivaraajia soveltamalla kapasiteetin ja tehokkuuden mittaamisessa lämpöpumpppustandardia (SFS-EN 16147:2011) (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut 2013).

### **3.3 Käyttöveden laatuvaatimukset ja hygienia**

RakMK D1 määräysten mukaisesti käyttöveden on oltava sellaista, ettei sen käytöstä aiheudu terveydellistä haittaa ja laitteistoon saa johtaa ainoastaan sellaista vettä, joka täyttää talousvedelle asetetut Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000) mukaiset vaatimukset. Vedessä ei saa olla sellaisia pitoisuuksia aineita, joista voisi olla ihmisen terveydelle vaaraa. Tarkemmat raja-arvot on mainittu em. asetuksen liitteen I taulukoissa 1 ja 2. Laatuvaatimukset koskevat vettä siinä kohdassa, kun juomaveden loppukäyttäjä eli kotitalousasiakas ottaa sitä hanasta. Talousveden yleinen laatu vaihtelee merkittävästi kansallisella tasolla ja voi vaikuttaa jopa varaajan materiaalin valintaan (Leino 1999, 30-31).

RakMK D1:ssä viitataan lämpötilatason osalta suoraan asumisterveysohjeeseen. Terveysturvallisuuslain (763/94) nojalla annettu asumisterveysohje edellyttää asuinhuoneistoissa vesijohtoveden vähimmäislämpötilavaatimukseksi 50 °C nykyisille rakennuksille ja 55 °C uudisrakennuksille mikrobiologisen kasvun estämiseksi (Aurola 2003, 87). Lämpötilatason alentamista on tarkasteltu luvussa 6.1.1.



### 3.3.1 Legionella –bakteeri ja sen torjunta

Yleisin ja tunnetuin lämminvesijärjestelmissä esiintyvä bakteeri on legionella-bakteeri, jonka käyttäytyminen on lähes suoraan riippuvainen lämpötilasta. Bakteeri kuitenkin kulkeutuu keuhkoihin ainoastaan aerosoleina hengitysilman mukana eikä tartu ihmisestä toiseen. Tartunnan voi siten saada todennäköisimmin suihkusta. Juomavedessä bakteeri ei kuitenkaan ole suoranaisesti vaarallinen. (Bartram et al. 2007, xxi.) Infektio voi johtaa ns. Pontiac-kuumeeseen tai pahimmillaan hengenvaaralliseen legionelloosiin eli keuhkokuumeeseen (Kanerva et al. 2003, 4915).

Legionellan lisääntymiselle suotuisimmat olosuhteet muodostuvat 20-45 °C:ssa, optimaalisimman ollessa 36±1 °C. Lämpötilan lisäksi aika on merkittävä tekijä bakteerien kasvussa eli pitkään putkessa seisova vesi on otollinen alusta niiden kasvuille. Yli 55 °C:ssa legionellan on todettu suurimmalta osin tuhoutuvan, kun taas alle 20 °C:ssa niiden lisääntymiskyky on olematon, mutta ne kuitenkin säilyvät elossa pidempiäkin aikoja (Zacheus et al. 1993, 1). Näin ollen on tärkeää, ettei kylmän veden lämpötila nouse yli 20 °C:n. Tämä on määrätty myös RakMK D1 kohdassa 2.3.6. Taulukossa 2 on esitetty bakteerin desimeroitumisaikoja eli aikaa, joka tarvitaan vähentämään elävien mikrobien määrää 90 % tietyssä lämpötilassa.

**Taulukko 2.** Legionella-bakteerin desimeroitumisaajat eri lämpötiloissa (Bartram et al. 2007, 30).

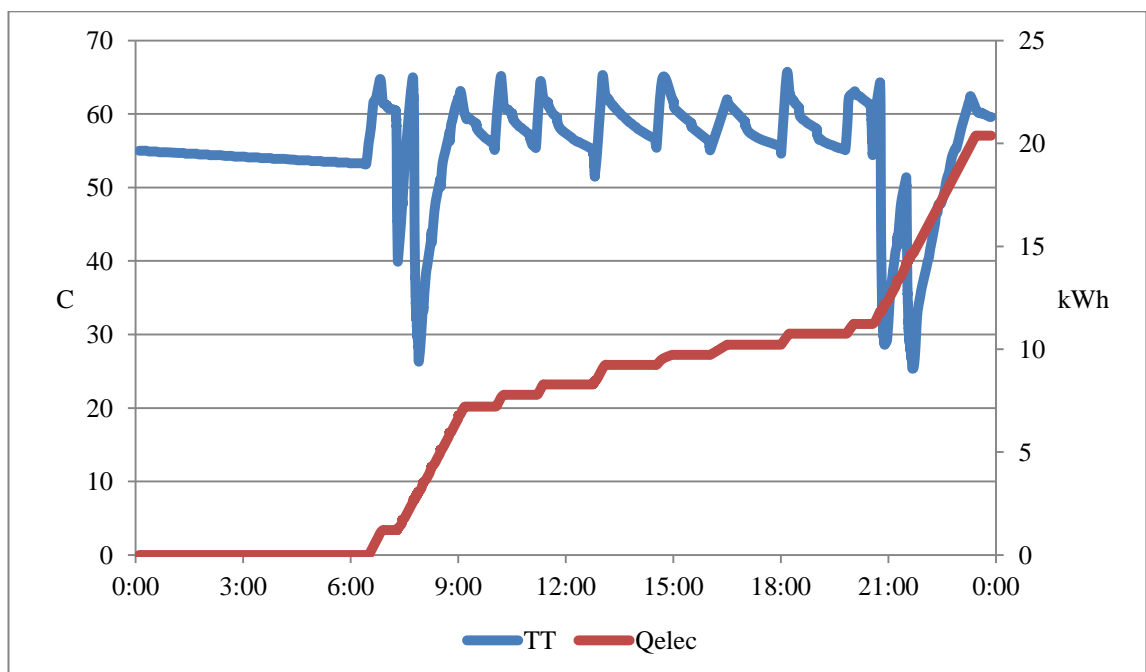
Lämpötila (°C)	Aika (s)	Aika (h)
>50	4800-7440	1,5-2
>60	120	1/30
>70	10	1/360

Lämpötilan nostaminen on helpoin ja yleisin tapa tuhota bakteeri, koska käyttöveden normaali klooripitoisuus on liian matala vaikuttaakseen bakteerin kasvuun. Bakteeri ei myöskään tuhoudu pH:n vaihteluista kestäen pH-alueella 5,5-10,0. (Perola 2006, 37.)

Vaikka Suomessa olevissa järjestelmissä lämpötilan tulee pysyä jatkuvasti yli 55 °C:n on muualla tavattu erilaisia ratkaisuja, joissa haasteena on ollut varaajassa olevan veden

lämpötilan vaihtelut. Lämpötila ei pysy varaajassa stabiilina ja saattaa laskea ajoittain suositellun lämpötilatason alapuolelle.

Kuva 19 esittää varaajan sisälämpötilan muuttumista 24 tunnin aikana ekosuunnitteluasetuksen mukaisen kuormitusprofiilin myötä. Suurimpien kuormien aikana lämpötila laskee hetkeksi, mutta muutoin termostaatti pitää sen 55-65 °C:n välissä.



**Kuva 19.** Ekosuunnitteluasetuksen edellyttämien Liitteessä I esitellyn kuormitusprofiili XL:n mukaisen mittauksen aikana tapahtunut lämpötilan vaihtelu (TT = varaajan sisälämpötila) sekä sähkön kumulatiivinen kulutus ( $Q_{elec}$ ) ajan funktiona.

Legionellariski ei kuitenkaan kasva liian suureksi ajoittaisen lämpötilan aleneman johdosta jos käyttöveden lämpötila pääsääntöisesti pidetään vaadittavassa yli 55 °C:ssa. Tärkeämpää on välttää pidempiaikaista veden seisottamista. (Boait et al. 2012, 162.) Kaukolämmön kohdalla hyötysuhdevaatimukset pitävät lämpimän veden kierron lämpötilan riittävän korkealla hygieenisyyden takaamiseksi jo normaalia pienemmälläkin menolämpötilalla (Energiateollisuus 2011, 10-12).

Maailmalla legionelloosiepidemioita on esiintynyt paikallisesti ajoittain suhteellisen voimakkaina. Esimerkiksi keväällä 1999 Hollannissa porealtaan läheisyydestä tartunnan sai 188 kukkanäyttelyn osanottajaa ja kesällä 2001 Espanjassa sairastui 650 ihmistä jäähdystornien läheisyydessä saadun tartunnan johdosta. Sairaalainfektiot ovat myös yleisiä ja Yhdysvalloissa jopa neljännes tartuntatapauksista on sairaalan sisällä havaittuja. (Kanerva et al. 2003, 4915.) Niiden lisäksi esim. hotelleissa legionellariski voi olla keskimääräistä korkeampi kausittaisen kulutusvaihtelun ja suhteellisen monimutkaisten vedenjakelujärjestelmien vuoksi. 90-luvulta kuluvalle vuosituhannele tultaessa kymmenen vuoden aikana globaalien legionellatapausten esiintymiset miljoonaa ihmistä kohden lähes kaksinkertaistuivat. (Bartram et al. 2007, 112 ja 145.)

Suomessa legionella-tapaukset ovat kuitenkin suhteellisen harvinaisia. Vuosittain diagnosoidaan muutamia kymmeniä tapauksia, vaikka todellinen määrä on oletettavasti suurempi. (Kanerva et al. 2003, 4915.) 90 –luvun alussa tehdyissä tutkimuksissa 30 %:ssa kiinteistöistä esiintyi legionellaa. Mittauksissa pitoisuudet vaihtelivat selvästi ja torjuntatoimenpiteinä tehdyllä lämpötilan muutaman viikon kestäneellä nostolla 60-70 °C:een putkistossa oleva bakteerikanta saatiin tuhottua. Käyttöpisteistä legionellaa ei kuitenkaan tällä menetelmällä saatu poistumaan. (Zacheus et al. 1993, 42-44.)

### **3.3.2 Muu käyttövedessä esiintyvä mikrobikasvusto**

Legionellan lisäksi veden laatuun vaikuttavia mikrobeja tunnetaan useita, mutta niiden haittavaikutukset on saatu suhteellisen hyvin eliminoitua. Koliformisia bakteereita, jotka ovat valikoivasti anaerobeja eli kasvavat ilman happea vain tietyissä olosuhteissa, ei saa olla hyvässä vedessä osoitettavissa 100 ml:n näytteissä. Bakteereita saattaa esiintyä vedessä jos desifiointi on ollut puutteellista, vesijohtoverkko on saastunut tai pintavettä on päässyt valumaan kaivoon. Aktinomykeetit ovat myös bakteereita, jotka tarvitsevat happea kasvaakseen. Ne sijaitsevat yleensä maaperässä, huuhtoutuvat pintaveteen ja hajottavat orgaanisia materiaaleja aiheuttaen veteen ”maan hajua”. Aktinomykeettien on joissain tapauksissa todettu aiheuttavan allergisia hengityselinsairauksia. *Pseudomonas aeruginosa*, jota esiintyy kaikissa luonnonvesissä, on bakteeri, joka viihtyy parhaiten 37 °C:ssa ja on opportunistinen taudinaiheuttaja eli ei yleensä aiheuta tauteja kuin puolustuskyvyttömässä ihmiskehossa. Vesilaitoksilla, klooraamattomassa pohjavedessä, klooratussa pintavedessä sekä vesijohtovedessä on

tavattu lisäksi mikrosieniä, hiivoja ja homeita, jotka voivat aiheuttaa allergisia oireita sekä erilaisia hajuja ja makuja. Muiden bakteereiden esiintymisen on myös todettu lisäävän legionellan kasvua. (Zacheus et al. 1993, 3-5.)

## **4 TESTAUSJÄRJESTELMÄN LAATIMINEN EKOSUUNNITTELUVAATIMUSTEN MUKAISESTI**

Kirjallisuustarkastelun lisäksi työssä laadittiin testausjärjestelmä ekosuunnittelu- ja energiamerkintälainsäädännössä edellytettävien tuoteryhmäkohtaisten säädösten vaatimien arvojen määrittämiseksi. Tavoitteena oli kehittää varaajien testausjärjestelmä VTT Expert Services Oy:lle palvelutuotteen luomiseksi. Saatujen mittaustulosten avulla tarkastellaan varaajan toimimista rakennuksen kokonaisenergian hallinnassa. Lisäksi mittaustuloksia suhteutetaan teoriaan sekä analysoidaan lainsäädäntövaatimusten toimivuutta.

### **4.1 Testausjärjestelmän laatiminen**

Suorituskyvyn mittaamiseksi on käytetty ekosuunnitteluasetuksessa annettua ohjeistusta sekä osittain lämpöeristettyjen käyttövesivaraajien standardiluonnoksen (prEN 50440:2005) mukaisia menetelmiä.

#### **4.1.1 Lainsäädännön asettamat lähtökohdat mittausjärjestelyille**

Tuoteryhmäkohtaisessa ekosuunnitteluasetuksessa eli komission asetuksessa vedenlämmittimien ja kuumavesisäiliöiden ekologista suunnittelua koskevista vaatimuksista (EU 814/2013) on annettu vähimmäisvaatimukset veden lämmittimien energiatehokkuudelle  $\eta_{wh}$  sekä varaavan vedenlämmittimen 40 °C:n veden saannolle  $V_{40}$ . Näiden tunnuslukujen lisäksi tulee määrittää vuorokautinen sähkönkulutus  $Q_{elec}$ .

Varaajan enimmäiskuormitusprofiili on se profiili, jonka vaatimukset se pystyy täyttämään virtaaman ja lämpötilan osalta. Ilmoitetuksi kuormitusprofiiliksi voidaan ekosuunnitteluasetuksen mukaisesti valita joko enimmäiskuormitusprofiili tai yksi tätä alempi profiili. Ilmoitetun kuormitusprofiilin ollessa XL, ovat vaadittavat

vähimmäisarvot energiatehokkuudelle kahden vuoden siirtymäajalla 30 % ja neljän vuoden siirtymäajalla 37 % sekä  $V_{40}$ -arvolle 210 l.

Tuotteiden energiatehokasta suunnittelua koskevat EcoDesign-direktiiviä (2009/125/EY) sekä Energiamerkintädirektiiviä (2010/30/EY), jotka on kansallisesti toimeenpantu ekosuunnittelulaille (1005/2008). Niiden nojalla energiaa käyttävien tuotteiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia pyritään vähentämään muuttamalla tuotteiden energiankulutusta sekä valmistukseen käytettävien materiaalien tarvetta (Ympäristöministeriö 2011b, 17).

#### 4.1.2 Mittausmenetelmän kuvaus

Mittaukset toteutettiin VTT Expert Services Oy:n tiloissa Otaniemessä. Testattavana oli vaakamallinen kuvan 20 mukainen Kaukoran 160 litran Jäspi VLS 150 S RST -varaaja, jonka rakenne on esitelty kuvissa 14 ja 15.

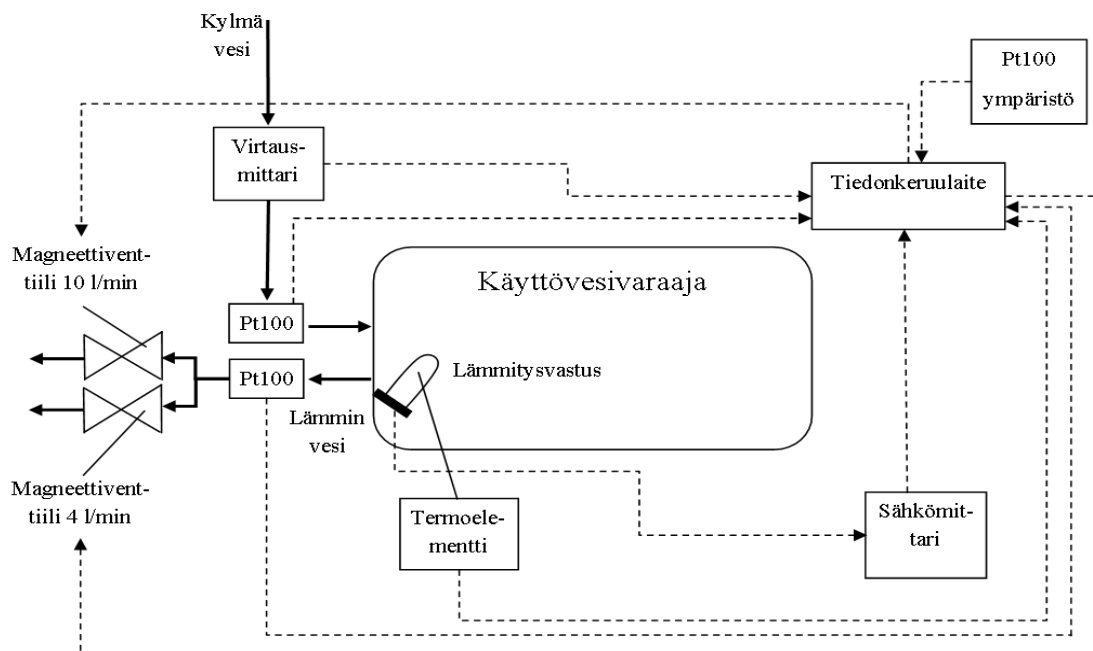


**Kuva 20.** Jäspi VLS RST varaava vedenlämmitin (Kaukora 2013).

Käyttövesivaraajalle määritettiin vaatimusten mukaisesti 40 °C:n lämpimän veden saanti  $V_{40}$ , kuormitusprofiilin avulla energiatehokkuus  $\eta_{wh}$ , vuorokautinen sähkönkulutus  $Q_{elec}$  sekä energiamerkintäasetuksen mukainen energialuokka.

Energiatehokkuuden mittaamiseksi sovellettiin osittain lämpöeristettyjen käyttövesivaraajien standardiluonnoksen (prEN 50440:2005) ohjeistusta. Vaadittavien tekijöiden määrittämiseksi varaajalla suoritettiin 24 h mittainen, liitteen I mukainen XL-kuormitusprofiiliohjelma.  $V_{40}$  määritettiin tuoteryhmäkohtaisen ekosuunnitteluasetuksen mukaisesti. Vuotuinen sähkönkulutus  $\eta_{wh}$  laskettiin kuormitusprofiilin mukaisissa testeissä saatujen tulosten pohjalta. Energialuokan määrittämisessä käytettiin energiamerkintäasetuksen taulukoita.

Testauslaitteisto koostuu kuvan 21 mukaisesti neljästä lämpötila-anturista (vesi ulos [Pt100], vesi sisään [Pt100], sisälämpötila [termoelementti], ympäristö [Pt100]), virtausmittarista, kahdesta magneettiventtiilistä (kahden erilaisen virtauksen ohjaamiseen kuormitusprofiilin mukaisesti), termostaattihanasta (tulevan kylmän veden lämpötilan säätö), tiedonkeruulaitteesta (tiedonkeruu ja viite-energian laskeminen magneettiventtiilien ohjaukseen) sekä sähkömittarista. Mittalaitteet ovat kalibroituja ja näytteenottotaajuus 1 sekunti.



**Kuva 21.** Testausjärjestelmän periaatekaavio. Musta nuoliviiva kuvaa veden kulkusuuntaa, katkoviiva sähköisten signaalien kulkua. Pt100:t ovat lämpötila-antureita.

## 5 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA NIIHIN VAIKUTTAVAT OSATEKIJÄT

Ekosuunnitteluvaatimusten mukaisten mittausten tulokset esitetään ja määritetään niiden pohjalta testatun varaajan energialuokka. Tulosten esittelyn jälkeen selvitetään varaajan energiatasetta ja tarkastellaan energiatehokkuuteen vaikuttavia osatekijöitä, kuten lämpimän käyttöveden tuotannon ja varastoinnin lämpöhäviöitä sekä käyttöveden tuotannon kokonaisenergiantarvetta.

### 5.1 Mittaustulokset ja energialuokituksen määrittäminen

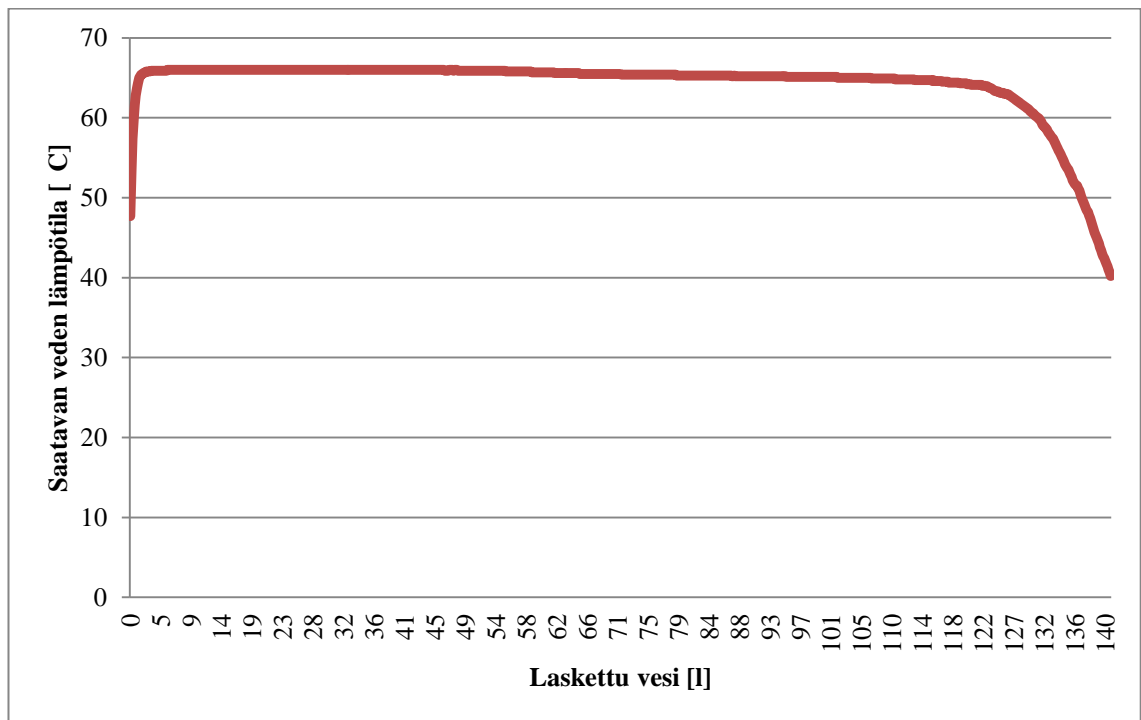
Mittauksissa saadut tulokset on esitelty taulukossa 3

Taulukko 3. Mittausjakso (24 h) suoritettiin kolme kertaa ja tulokset ovat kolmen saadun mittaustuloksen keskiarvoja. Energiatehokkuudelle lasketun arvon keskihajonta oli 0,33 eli 0,87 %.

**Taulukko 3.** Ekosuunnitteluasetuksen mukaisen testin tulokset.

<b>V<sub>40</sub> [l]</b>	276
<b>Kuormitusprofiili</b>	XL
<b>Q<sub>ref</sub> [kWh]</b>	19,1
<b>Q<sub>elec</sub> [kWh]</b>	20,3
<b>η<sub>wh</sub> [%]</b>	38,1
<b>-epävarmuus (95 %:n luottamusv.)</b>	0,4
<b>AEC [kWh]</b>	4399
<b>Energialuokka</b>	C

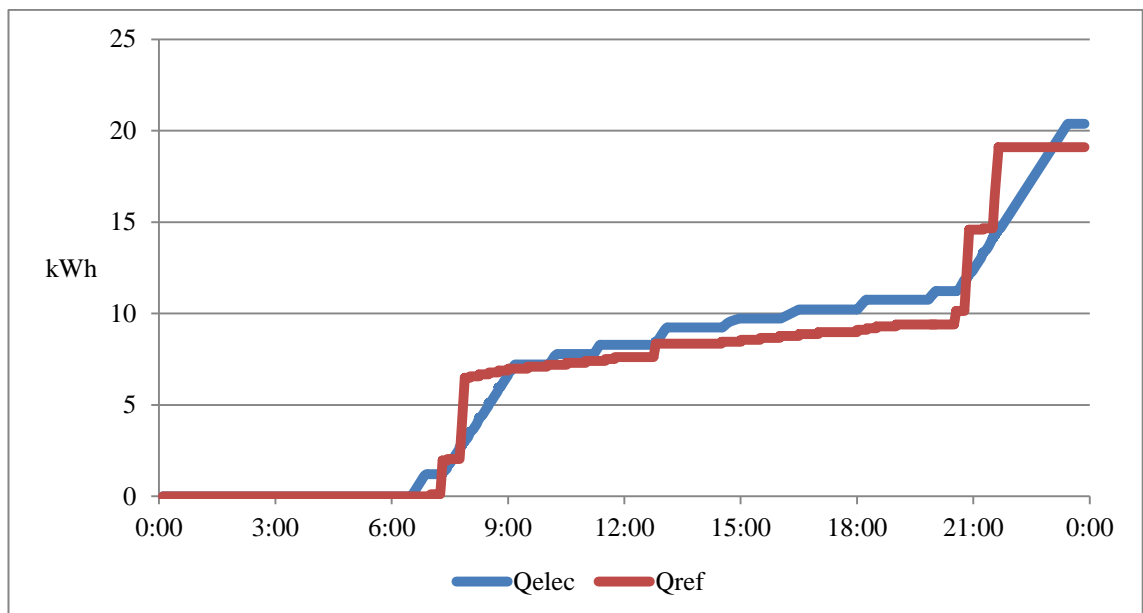
Kuormitusprofiilin määrittämiseksi varaajan lämpimän veden saanto määritettiin valuttamalla nimellistä kapasiteettia vastaava määrä vettä syöttämällä varaajaan 15 °C vettä. Määrittys toteutettiin kytkemällä stabiilissa tilassa olevan varaajan lämmitysvastus pois ja laskemalla kuvan 22 mukaisesti valutetusta yli 40 °C:sta vedestä tilavuus, joka vastaisi absoluuttista 40 °C:n veden määrää.



**Kuva 22.** Yli 40 °C lämpimän veden saanto vastuksen poiskytkemisen jälkeen  $V_{40}$ -arvon määrittämiseksi. Varaaja oli lämmitetty 65,4 °C:een. Vettä juoksutettiin n. 10 l/min.



Energiatehokkuuden laskentaa varten tarvittavat arvot olivat todellinen varaajan kuluttama sähköenergia  $Q_{elec}$  sekä viitteellinen lasketun veden lämpöenergian mukainen energia  $Q_{ref}$ . Kuva 23 esittää näiden keskinäisen käyttäytymisen ja siitä nähdään lämmityksen jaksoittaisuus suhteessa suurempiin kulutuspiikkeihin. Ekosuunnitteluasetuksessa energiatehokkuuden laskennassa sähkölle on annettu hyötysuhteeksi 2,5, joka perustuu EU-alueen keskimääräiseen sähköntuotannon hyötysuhteeseen.



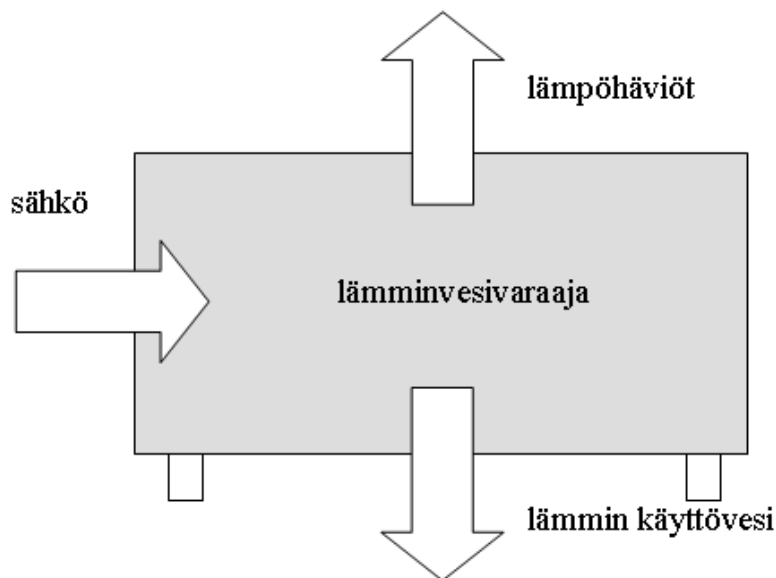
**Kuva 23.** Ekosuunnitteluasetuksen XL –kuormitusprofiilin ensimmäisen mittauksen mukainen todellinen sähkönkulutus  $Q_{elec}$  sekä viitteellinen lämpöenergia  $Q_{ref}$ .

Taulukko 3 tuloksista vuotuinen sähkönkulutus AEC laskettiin ekosuunnitteluasetuksen ohjeistuksen mukaisesti  $Q_{elec}$  perusteella ja energialuokka määritettiin tuoteryhmäkohtaisen energiamerkintäasetuksen (EU 812/2013) avulla.

Lisäksi varaajan ylläpitosähkönkulutus mitattiin kahden vuorokauden aikavälillä. Termostaatti asetettiin n. 60 °C:een ja tuloksena oli 1,36 kWh/vrk, mikä tekee vuositasolla lähes 500 kWh. Ympäristön keskimääräinen lämpötila testin aikana oli 24,2 °C.

## 5.2 Varaajan energiatase ja ekosuunnitteluvaatimusten vaikutus

Käyttövesivaraajan energiataseeseen vaikuttavat ensisijaisesti lämpöhäviöt, jotka ovat riippuvaisia eristyksestä ja lämpötilakerrostumisesta. Häviöihin vaikuttavat myös lämmityksen jaksottaminen sekä varaajassa oleva lämpötilataso. Tavanomaisen lämminvesivaraajan energiatase on yksinkertaisimmillaan kuvan 24 mukainen. Sähkövastuksella lämmitetään kylmä vesi käyttölämpötilaan ja lämpö poistuu varaajan taserajan yli sekä laskettuna lämpimänä vetenä että lämpöhäviöinä.



**Kuva 24.** Tavanomaisen lämminvesivaraajan yksinkertaistettu energiatase.

Ekosuunnitteluasetuksen lähtökohtana on tarkastella kuvan 24 mukaista varaajan energiatasetta ja selvittää vedenlämmittimen energiankäyttöä. Mahdolliset muut rakennuksessa olevat, varaajan ulkopuoliset tekijät eivät vaikuta siihen. Vedenlämmittimiä ja kuumavesivaraajia koskevan tuoteryhmäkohtaisen ekosuunnitteluasetuksen soveltamisen kannalta käytönaikainen energiankulutus on määritelty merkitykselliseksi ympäristönäkökohdaksi.

### **5.3 Varaajan lämpöhäviöihin vaikuttavat tekijät ja niiden merkitys**

Varaajan lämpöhäviöt ovat energiatehokkuuden muodostumisessa merkittävin tekijä. Varaajan häviöt ovat lämmityksessä hyödynnettäviä lämpöhäviöitä, joilla voidaan kattaa tilojen lämmityksen energiantarpeen laskennassa tilojen nettoenergiantarvetta. Häviöt lasketaan hyödynnettäväksi, kun lämmönlähde on säätämätöntä lämpökuormaa, joka ei riipu tilan lämmityksen säätölaitteen toiminnasta. (Ympäristöministeriö 2011a, 15.) Merkittävimpiä tekijöitä lämpöhäviöiden muodostumisessa ovat varaajan eristys, veden lämpötilakerrostuminen sekä lämpötilan säätö.

#### **5.3.1 Varaajan lämpöhäviöiden määrittäminen**

Varaajan lämpöhäviöt voidaan määrittää laskennallisesti RakMK D5 taulukoiden mukaisesti tai empiiristen testien avulla.

Lämpimän käyttöveden varastoinnin teoreettisten lämpöhäviöiden laskentaan tarvitaan lähtötietoina varaajan vaipan pinta-ala, keskimääräinen varaajan lämpötila sekä ympäristön keskimääräinen lämpötila. Laskenta suoritetaan lämpimän käyttöveden lämpöhäviöstandardin (SFS-EN ISO 12241:2008) mukaisesti. Menetelmää käytettäessä tehdään seuraavia oletuksia:

- varaajassa oleva vesi on täysin sekoittunutta ja veden lämpötila keskimääräinen
- ympäristön lämpötila on vakio
- eristeiden lämmönjohtavuudet ovat vakiot

Laskentamenetelmä ei kuitenkaan anna tarkkaa lukemaa varaajan lämpöhäviöistä. Tukirakenteiden tarkat lisälämpöhäviöt voidaan ottaa yksinkertaisesti huomioon käyttämällä lämpöhäviökerrointa 1,1 sisätiloissa olevalle varaajalle ja 1,15 ulkona olevalle varaajalle (Ympäristöministeriö 2011a, 74). Koska varaajan pinta-ala vaikuttaa lämpöhäviöihin, olisi häviöiden kannalta optimaalinen rakenne pallon muotoinen varaaja, jossa pinta-alan suhde tilavuuteen on mahdollisimman pieni.

Tarkempi rakenteellinen lämmönsiirtomallintaminen on myös mahdollista, mutta usein ei tarpeellista. Jos kuitenkin on tarvetta tarkemmalle tehokkuuden mallintamiselle, päästään moniulotteisemmalla simuloinnilla selvästi lähemmäs todellista tilannetta, kuin

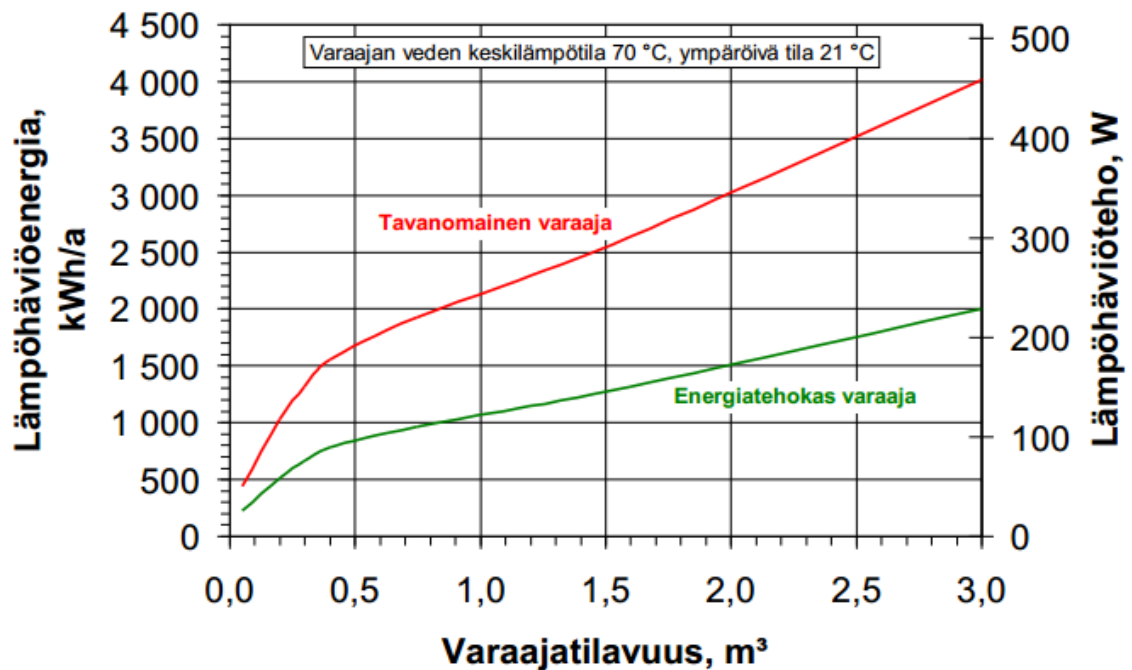
perinteistä materiaalien ominaisuuksiin painottuvaa laskentamallia käyttämällä (Cruickshank ja Harrison 2010, 1708).

Lämpimän käyttöveden siirtoputkille on RakMK D5:ssä määritelty hyötysuhteet. Hyvin eristetyn varaajan kohdalla lämminvesiputkiston siirtolämpöhäviöt nousevat yleensä varaajan häviöitä suuremmiksi. Esimerkiksi keskimääräisen 90 % hyötysuhteella toimivan sähkölämmitteisen varaajan tapauksessa muutaman sentin eristyksellä 13 mm halkaisijaltaan olevan kupariputken häviöt ovat varaajaa suuremmat jo vähän yli 10 metrin putkistopituuksilla. Lämpimän veden kiertoputkella varustetussa järjestelmässä hieman pienempikin etäisyys varaajasta riittää putkiston varaajaa suurempiin lämpöhäviöihin. Kahden varaajan käyttäminen saattaisi olla siten kyseisissä tapauksissa perusteltua, mutta toisaalta myös monimutkaisempaa. Tämänkaltaisen ratkaisu on kuitenkin hyvin harvoin käytetty. (Hiller 2005, 415-416.) Putkistorusteiden kuten venttiilien ja kannakkeiden lämpöhäviöille ei ole olemassa erillistä laskenta-ohjetta. Suuntaa antavaksi ohjeistukseksi on lämpöhäviöiden laskennassa annettu jokaista varustetta kohden lisättäväksi 1 m ekvivalenttia putkipituutta kokonaisputkipituuteen (Ympäristöministeriö 2011a, 92). RakMK D3:n mukaisesti laskennassa putkistojen häviöistä oletusarvoisesti 50 % lasketaan tilojen lämpökuormaksi. Jos varaaja on asetettu lämmitettävään tilaan, vähentävät sen lämpöhäviöt talvella lämmitykseen tarvittavaa sähköä, jos lämmitys on termostaattiohjattu. Kesällä lämpöhäviöt ovat ylimääräistä, haitallista lämpökuormaa. Varusteiden kohdalla lämpöeristämiseen on myös alettu kiinnittämään tarkempaa huomiota ja monipuolisia eristeratkaisuja on yleisesti saatavilla.

Energiateollisuus ry:n (2011, 33) mukaan varaajan aiheuttama lämpöhäviö on usein pientalossa tehokkaasti eristetyn lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviötä suurempi, kun tarkastellaan asiaa energiamääräysten mukaisesti. Kiertojohdon lämpöhäviöt saattavat tosin olla vanhemmissa, huonosti eristetyissä kohteissa joskus jopa samansuuruiset varsinaiseen käyttöveden lämmitykseen suhteutettuna (Motiva 2013). Käyttöveden kiertoputkiston eristäminen vähentää lämpöhäviöitä, mutta vaikeuttaa samalla esim. kaukolämmön kohdalla käyttöveden menolämpötilan säätöä lämpimän käyttöveden kierron merkittävän pienentymisen vuoksi (Energiateollisuus 2011, 33).

### 5.3.2 Varaajan eristäminen ja eristyksen vaikutukset

RakMK D5:ssä varaajan lämpöhäviöille on annettu laskennalliset ohjearvot tavanomaiselle 40 mm eristeellä eristetylle varaajalle sekä energiatehokkaalle 100 mm eristeellä eristetylle varaajalle kuvan 25 mukaisesti (RakMK D5, 42). Näitä arvoja käytetään energiatodistuksen laskennassa, jos todellisia lämpöhäviöitä ei voida erillisselvityksellä osoittaa (Ympäristöministeriö 2013, 11).



**Kuva 25.** Tavanomaisen sekä energiatehokkaan varaajan lämpöhäviökäyrät tilavuuden suhteen (Ympäristöministeriö 2011a, 21).

Nykyaikaisen varaajan yleisimpänä eristeenä käytetään polyuretaania (PUR) tai polystyreenia (EPS) ja yksittäisissä tapauksissa myös lasivillaa. Muita eristämiseen teoriassa sopivia materiaaleja ovat arogeeli, polyisosyanuraatti, kennomainen fenoli-eriste, kivivilla sekä tyhjiöeriste. Useat näistä ovat kuitenkin tarkoitettu erityisominaisuuksia vaativiin sovelluksiin ja niiden hinta on korkeahko. (Omer et al. 2007, 276-277.)

Varaajan hyötysuhteeseen vaikuttaa selvästi myös varaajan koko. Mitä suurempi varaaja, sitä suuremmat ovat lämpöhäviöt, jolloin eristyksen merkitys kasvaa entistä

suuremmaksi. 3 000 litran keskimääräisesti eristetyn varaajan kohdalla vuotuiset lämpöhäviöt voivat olla yli 4 000 kWh (Ympäristöministeriö 2011a, 21).

### **5.3.3 Varastoitavan veden lämpötilakerrostuminen**

Varaajan toiminnassa lämpötilakerrostumisella on merkittävä rooli. Kerrostumisen tarkoituksena on käyttövetenä tarvittavan lämpimämmän veden varastoiminen yläosaan ja sen lämmittäminen tarpeen mukaan sähkövastuksella, kun taas alemmalla lämpötilatasolla olevaa vettä varastoidaan alempiin osiin. Vesi kerrostuu lämpötilaerojen syntyessä. Kerrostuminen voi tehostaa varaajan toimintaa jopa yli 30 % (Cruickshank ja Harrison 2010, 1703). Kerrostuminen ilmiönä on ollut pitkään tunnettu ja lämpötilakerrostumista onkin tutkittu maailmalla jo 70-luvulta lähtien (Han et al. 2008, 1016).

Kerrostuminen johtuu lämpimän ja kylmän veden tiheuseroista. Kylmänä varaajaan syötettävä tiheampi vesi jää varaajan pohjalle ja tiheydeltään pienempi lämpiävä käyttövesi nousee varaajan yläosaan. Varaajasta siis pääsääntöisesti otetaan lämmintä vettä tankin yläosasta ja syötetään samanaikaisesti kylmää vettä tankin alaosaan. Tällä periaatteella lämpöhäviöitä saadaan minimoitua entisestään ja hyötysuhdetta kasvatettua. Kerrostumisen mahdollistamiseksi veden sekoittuminen pitää estää eli vesi johtaa varaajaan riittävän hitaasti. Nykyaikaisissa varaajissa kerrostumista on usein tehostettu ns. kerrostumalevyllä, joka jakaa säiliön tilavuuden kahtia pystysuunnassa. (Han et al. 2008, 1014-1016.) Lämmitysverkostossa myös automaattisesti tapahtuva sopivan lämpötilan valitseminen tarvittavan lämpötilan mukaisesta kerroksesta tehostaisi kerrostumista ja energiatehokkuutta vähentämällä kuumimman veden kulutusta. Lämpötilakerrostumisen tehostamisessa myös vaihtoehtoiset ratkaisut, kuten latenttilämmön hyödyntäminen faasimuutosmateriaalien avulla, ovat mahdollisia.

### **5.3.4 Varaajan lämmityksen säätö termostaatilla**

Varaajan lämmittäminen on käytännössä aina tavalla tai toisella jaksotettua. Tavallisin menetelmä on termostaatti, joka ohjaa lämmitystä lämpötilan mukaan katkomalla vastukselle syötettävää virtaa. Termostaatin lisäksi sähkövastuksellista varaajaa ohjaa usein kellokytkin eli ns. tariffinohjauslaite, joka toimii yhteydessä termostaatteihin ja

kytkee yösähkön aikaan lämmityksen päälle. Termostaatti kehitettiin jo 1800-luvun lopulla. Termostaattien yleistymisen varaajissa alkoi 1920-luvulla Detroitissa kun Walter Vallet Sr. kehitti ensimmäisen termostaattiohjatun automaattisen kaasulla toimivan vesivaraajan (Geroge 2012, 42).

Varaajan lämpötilan säätö perustuu yleensä termostaatin toimintaan, joka säätelee lämmityslaitetta lämpötilan muutosten mukaan sekä ylä- että alarajoilla. Esimerkiksi tavanomaisessa varaajassa termostaatti ohjaa sähkövastuksen toimintaa hystereesin rajoissa. Hystereesi (tai differenssi) on termostaatin toimintaa säätelevä arvo, joka ilmaisee säätömekanismiin viiveen. Varaajassa lämpötilan säädön ei tarvitse olla reaaliaikaista, jolloin viive vastuksen toiminnassa sallitaan ja vähennetään laitteiden jatkuvaa käynnistämistä ja sammuttamista. Esimerkiksi varaajassa hystereesi voidaan säätää siten, että termostaatti käynnistyy kun lämpötila laskee alle 55 °C:n ja katkaisee virran syötön vastukselle, kun veden lämpötila ylittää taas 60 °C. Tällöin hystereesin arvo on 5 °C. Tämä on lämpötilapoikkeama, joka tarvitaan venttiilin sisäisen kitkan voittamiseksi. (Harju 2010, 107.)

Sähkövastuksen kohdalla hystereesin merkitys on suhteellisen vähäinen verrattuna järjestelmään, jossa vesi lämmitetään lämpöpumpulla. Usein hystereesin asetusarvo on n. 4°C, joka sekin voi olla turhan pieni ja aiheuttaa lämpöhäviöitä sekä turhaa pumpun kulumista. Kaasulämmitteisissä varaajissa hystereesin arvo on usein jopa 10 °C, mutta lämpöpumpun tapauksessa alemmaa arvoa puoltaa yleensä heikompi lämmitysteho, jolloin talon lämmitystä ei välttämättä saada katettua samaan aikaan käyttöveden kulutushuippujen kohdalla. Tämä vaikuttaa erityisesti käyttömukavuuteen. (Boait et al. 2012, 166.)

#### **5.4 Lämpimän käyttöveden tuotannon energian- ja tehontarve**

RakMK D1:n kohdan 2.3.8 määräyksen mukaisesti veden lämpötilan on oltava lämminvesilaitteistossa vähintään 55 °C, jotta vältetään veden mikrobiologisen ja kemiallisen laadun heikentyminen. Kaukolämmön kohdalla lämmönsiirrin mitoitetetaan usein siten, että käyttöveden lämpötila on 58 °C. Veden lämpötila voi kuitenkin vesijohdon odotusajan osuuksissa laskea alle 55 °C:n. Varaajalta verkostoon syötettävä käyttövesi säädetään termostaattillisella sekoitusventtiilillä asetuslämpötilaan välille 55-

60 °C (Seppänen 2001, 255). Lämpötila ei saa ylittää 65 °C:ta korkeasta lämpötilasta ihmiselle aiheutuvan tapaturmariskin vuoksi. Taulukossa 4 on esitetty legionellan estämistä käsittelevän standardin (CEN/TR 16355:2012) mukaiset liian kuumalle vedelle altistumisen suositusrajat.

**Taulukko 4.** Kuumalle vedelle altistumisen suositusrajat palamisriskin välttämiseksi (EN 16355, 5)

Lämpötila (°C)	Aika, lapset (s)	Aika, aikuiset (s)
70	<1	<1
60	3	7
50	120	510

Hyötysuhteen voidaan veden lämmityksessä sähkövastuksella olettaa olevan 100 %. Näin ollen sähköllä tapahtuvan käyttöveden lämmitys ei vaikuta suoranaisesti ekosuunnittelun mukaiseen energiatehokkuuteen, laskennassa käytettävää sähkön muuntokerrointa lukuun ottamatta. Energiatehokkuuden laskennassa käytettävä sähkön muuntokerroin 2,5 perustuu EU:n alueen keskiarvoiseen 40 % sähköntuotannon hyötysuhteeseen. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa (CHP) sähköntuotannon laskennallinen hyötysuhde on kuitenkin edellä mainittua arvoa korkeampi (Flyktman ja Helynen 2004, 5). Yhteistuotannon osuus Suomen sähköntuotannosta oli 36 % vuonna 2011 ja sähköntuotannon keskimääräinen hyötysuhde täten EU:n alueen tasoa korkeampi (Tilastokeskus 2012b).

Seuraavassa on laskettu RakMK D5:n laskentaohjeistukseen perustuen lämpimän käyttöveden lämmitysenergian vuosittainen tarve 4 henkiselle perheelle 120 m<sup>2</sup> rakennuksessa. Lämmitysenergian kokonaistarpeen laskemiseksi tulee ensin selvittää käyttöveden lämmityksen tarvitsema nettoenergia ja käyttöveden siirto- sekä varastointihäviöt. RakMK D3:n taulukko antaa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeelle pientalossa neliöperusteisen arvon 35 kWh/m<sup>2</sup>a, joka antaa 120 m<sup>2</sup> rakennukselle 4 200 kWh/a. Käyttöveden LTO:n tuomaa säästöpotentiaalia on myös arvioitu laskennallisesti. Lisäksi määritetään käyttöveden lämmitykseen tarvitsema hetkellinen tehontarve.



#### 5.4.1 Lämpimän käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia

Käyttöveden lämmitykseen tarvittava lämpöenergia lasketaan RakMK D5:n mukaisesti. Kuten luvussa 2.1 mainittiin, suomalaisten lämpimän veden kulutus on keskimäärin n. 50 l/vrk. Lasketaan kaavojen 1 ja 2 mukaisesti yhden ihmisen vuotuisen käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia, kun oletuslämpötilaerona ( $T_{lkv}-T_{kv}$ ) käytetään RakMK D5 luvun 3.7.1 oletusarvoa 50 °C ja oletetaan, ettei käyttöveden lämmöntalteenotto ole käytettävissä:

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} - Q_{lkv,LTO} \quad (1)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	käyttöveden lämmityksen nettoenergiantarve [kWh]
$\rho_v$	veden tiheys [1000 kg/m <sup>3</sup> ]
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti [4,2 kJ/kg K]
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus [m <sup>3</sup> ]
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila [°C]
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila [°C]
3600	muunnetaan kilowattitunneiksi [s/h]
$Q_{lkv,LTO}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia [kWh]

$$Q_{lkv,netto} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,2 \frac{kJ}{kgK} \cdot (365 \text{ vrk} \cdot 0,050 \frac{m^3}{vrk}) \cdot 50^\circ C}{3600} \quad (2)$$

$$Q_{lkv,netto} \ 1 \text{ hlö} = 1 \ 064 \text{ kWh} \approx 1 \text{ MWh/a} \quad (3)$$

$$Q_{lkv,netto} \ 4 \text{ hlö} = 4 \ 258 \text{ kWh} \approx 4,2 \text{ MWh/a} \quad (4)$$

Uusissa määräyksissä jäteveden lämmöntalteenotto siis huomioidaan laskennassa. Edellisestä laskusta havaitaan suoraan lämpötilan vaikutus. Lämpötilaeron oletusarvolla 50 °C kylmän veden lämpötilan voidaan olettaa olevan n. 10 °C ja lämpimän veden 60 °C:ta. Esilämmittämällä tulevaa kylmää vettä, laskee lämmitykseen tarvittava energiamäärä lineaarisesti. Jos käyttöveden lämmöntalteenotolla saataisiin vähennettyä käyttöveden lämmitykseen kuluvaa sähköenergiaa 40 %, olisivat säästöt edellä lasketun kulutuksen mukaisesti:

$$Q_{lkv,LTO} = Q_{lkv,netto} \cdot 0,40 = \frac{4 \ 258 \frac{\text{kWh}}{4 \ \text{hlö}}}{a} \cdot 0,4 = 1 \ 702 \frac{\text{kWh}}{4 \ \text{hlö}}/a \quad (5)$$

Säästöä nelihenken perheen kohdalla kertyisi 1,7 MWh/a.

#### 5.4.2 Lämpimän käyttöveden siirtohäviöiden teoria ja laskelmat

Siirron laskennallisiksi hyötysuhteiksi on RakMK D5:ssä annettu asuinrakennuksille 0,96-0,97 kiertojohdollisissa kohteissa ja 0,75-0,94 kiertojohdottomissa kohteissa riippuen johdon eristyksen tasosta. Kiertojohto toisaalta lisää myös lämpöhäviöitä. Lähtökohtaisesti kiertojohdolle käytetään lämpöhäviöinä arvoa 40 W/m ja tarkemman tiedon salliessa matalampia lämpöhäviön ominaistehoja; esim. suojaputkella varustetulle kiertojohdolle 15 W/m. Kiertojohtoon kytketyt lämmityslaitteet toki lisäävät lämpöhäviöitä tapauskohtaisesti.

Kiertojohdon pituudelle voidaan laskennassa käyttää RakMK D5 mukaisia ominaispituuksia. 120 m<sup>2</sup> pientalolle kiertojohdon pituudeksi saadaan 5,16 m. Kun oletetaan kiertojohto sijoitetuksi suojaputkeen siten, ettei kiertojohtoon ole liitetty

lämmityslaitteita ja kiertopumpun käyttöajaksi 24 h/vrk, voidaan laskea lämpöhäviöt kaavan 6 mukaisesti:

$$Q_{lkv,kierto} = P_{lkv,kiertohäviö,omin} \cdot L_{lkv} \cdot \frac{t_{lkv,pumppu} \cdot 365}{1000} \quad (6)$$

jossa

$P_{lkv,kiertohäviö,omin}$  kiertojohdon ominaislämpöhäviöteho [W/m]

$L_{lkv}$  kiertojohdon pituus [m]

$t_{lkv,pumppu}$  kiertopumpun käyttöaika [h]

$$Q_{lkv,kierto} = 15 \frac{W}{m} \cdot 5,16 m \cdot \frac{24 \frac{h}{vrk} \cdot 365}{1000} = 678 kWh/a \quad (7)$$

### 5.4.3 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan RakMK D5:n luvun 6.3 mukaisesti summaamalla käyttöveden lämpöenergian nettotarve lämpimän käyttöveden siirtohyötysuhteella korjattuna, varastoinnin lämpöhäviöt sekä kiertojohdon lämpöhäviöt:

$$Q_{lämmitys,lkv} = \frac{Q_{lkv,netto} - Q_{lkv,LTO}}{\eta_{lkv,siirto}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} \quad (8)$$

Käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöinä voidaan käyttää RakMK D5 mukaisia taulukoituja arvoja. Esimerkin mukaisessa 120 m<sup>2</sup> pientalossa nelihenkiselle perheelle riittävän lämpimän veden saannon takaavassa nykyaikaisessa 150 l varaajassa vuotuiset lämpöhäviöt ovat oletuksena 420 kWh/a. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve  $Q_{lämmitys,lkv}$  saadaan edellä laskettujen arvojen avulla laskettua kaavan 9 mukaisesti:

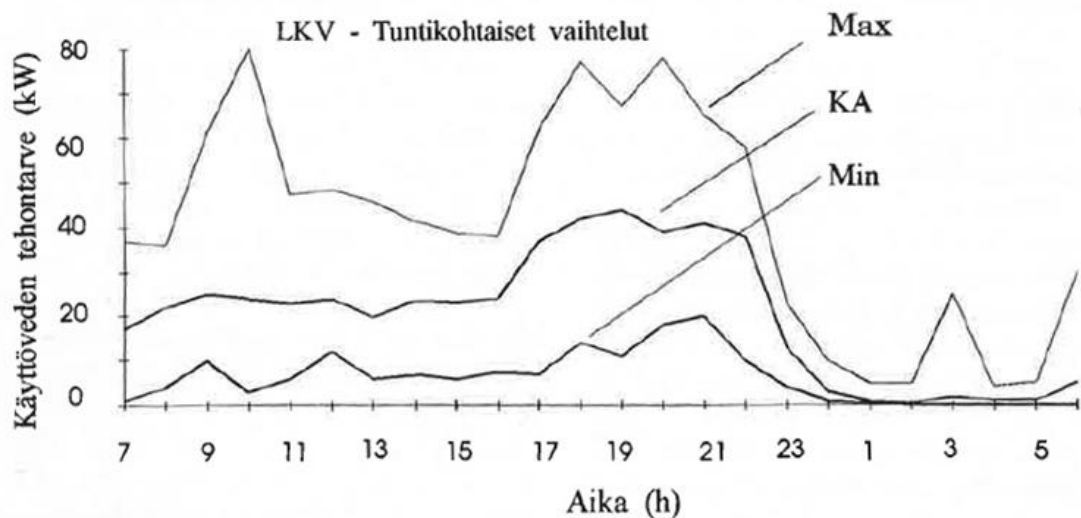
$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{4\,258\text{ kWh}}{0,96} + 420\text{ kWh} + 678\text{ kWh} = 5533\text{ kWh} \quad (9)$$

Ja vaihtoehtoisesti käyttöveden LTO:lla varustettuna:

$$\begin{aligned} Q_{\text{lämmitys,lkv+LTO}} &= \frac{(4\,258 - 1702)\text{ kWh}}{0,96} + 420\text{ kWh} + 678\text{ kWh} \\ &= 3759\text{ kWh} \end{aligned} \quad (10)$$

#### 5.4.4 Lämpimän käyttöveden lämmitystehon tarve

Lämpimän käyttöveden kulutukselle ominaista ovat merkittävät vaihtelut Kuva 26 mukaisesti ja kulutushuiput suhteessa keskikulutukseen ovat usein suuria. Huipputehojen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on kuitenkin suhteellisen pieni, sillä jopa 90 % energiasta kuluu teholla, joka on alle 40 % huipputehosta. Nämä vaikuttavat suoraan järjestelmän mitoittamiseen sekä veden varastointitarpeeseen. (Seppänen 2001, 261.)



**Kuva 26.** Erään kaukolämmitteisen kerrostalon tuntikohtaiset käyttöveden tehontarpeen vaihtelut (Seppänen 2001, 250).

Suihkussa käytettävä lämpimän veden kulutus on merkittävin yksittäinen tehoon vaikuttava tekijä. Lasketaan suihkun aiheuttama hetkellinen lämmitystehon tarve RakMK D5 luvun 9.7 mukaisesti:

$$P = T_{lkv} - T_{kv} \cdot q_m \cdot c_p \cdot \rho_v + P_{lkv,kiertohäviö} \quad (11)$$

$$P = 38 - 10 \text{ °C} \cdot 0,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} + 0,24 \text{ kW} = 23,6 \text{ kW} \quad (12)$$

Suihkussa kulutetun lämpimän veden lämmittämiseen teoreettisesti laskettu teho on 20-25 kW riippuen tulevan kylmän veden lämpötilasta, kun suihkun virtaamana käytetään RakMK D1:n mukaisesti normivirtaamaa 0,2 l/s, suihkuveden keskimääräisenä lämpötilana 38 °C:sta ja kylmän veden lämpötilana 10 °C:sta. Työtehoseuran 70-luvun lopussa tekemän käyttäjätutkimuksen mukaan miellyttävä suihkulämpötila vaihtelee 33,0-42,7 °C:n välillä (Määttä 1993, 17). Laskennassa on sovellettu RakMK D5 ohjeistusta käyttöveden lämmitystehon laskennasta, jossa lämpötilaeron on käytetty 50 °C. Lämpötehon tarpeen laskemiseksi ohjeistuksen mukaisesti lämmitystehon tarpeeseen tulee lisätä vielä kiertojohdon lämpöhäviöteho. Kiertojohdon lämpöhäviö on kuitenkin suhteellisen pieni verrattuna käyttöveden lämmitystehontarpeeseen; esim. 120 m<sup>2</sup> rakennuksessa RakMK D5 mukaista kiertojohdon oletuslämpöhäviölukua 0,002 kW/m<sup>2</sup> käytettäessä laskennallisesti vain 0,24 kW.

## 5.5 Analysointi ja johtopäätökset

Seuraavassa pohditaan mittaustulosten merkitystä ja sitä myöten käyttövesivaraajan vaikutusmahdollisuuksia rakennusten energianhallinnassa. Lisäksi tarkastellaan ekosuunnittelulainsäädännön toimivuutta ja paikallista soveltuvuutta.

### **5.5.1 Mittaustulosten merkitys rakennusten kokonaisenergianhallinnan arvioinnissa**

Varaajan testauksessa saadut tulokset ovat odotetun kaltaisia. Varaajan saavuttama energialuokka on lainsäädännön lähtökohdat huomioon ottaen hyvä. Energiatehokkuusvaatimusten osalta se täyttää myös asetuksen voimaantulon jälkeen neljän vuoden siirtymäajalla edellytettävät arvot.

Energiatehokkuuden kannalta oleellisimpia tekijöitä ovat varaajan lämpöhäviöt sekä käyttöveden lämmitys. Käytännössä tavanomaisen lämminvesivaraajan on, vaikka lämpöhäviöt eliminoitaisiin, mahdotonta saavuttaa parempaa energiamerkintäluokitusta ilman ulkoisia energianlähteitä. Pelkästään sähköllä vettä lämmittävälle varaajalle korkein mahdollinen energialuokka on teoriassakin vain C. Sähkötehon huomioon ottaminen, pelkän sähkönkulutuksen lisäksi sähköllä toimivan lämmittimen energiatehokkuuden määrittämisessä, tekisi sähköisestä lämminvesivaraajasta energiamerkinnän osalta kilpailukykyisemmän vaihtoehdon. Lainsäädäntö ohjaakin tällä tavoin energiatehokkuuden osalta kohti kokonaistaloudellisempaa energian käyttöä. Parempi energiatehokkuus edellyttää käyttöveden lämmöntalteenoton, aurinkokeräimien ja muiden kokonaisenergiankulutusta vähentävien ratkaisujen hyödyntämistä.

Tuloksista voidaan päätellä, olettaen testatun varaajan edustavan tyypillistä käyttövesivaraajaa, että nykyaikaiset varaajat täyttävät ekosuunnittelulainsäädännön vähittäisvaatimukset. Käyttöveden lämmityksen osuus rakennuksen lämmitysenergiasta on merkittävä ja sen vähentäminen tärkeää laajemman tason energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi. Käyttövesivaraajan rooli rakennuksen kokonaisenergian hallinnassa on toki rajallinen ja varsinaisen laitteen tarjoamat mahdollisuudet vähäiset. Käyttöveden lämmittämisen tarvitsema energia riippuu veden ominaislämpökapasiteetista, joka on fysikaalinen vakio. Lämpimän käyttöveden vaatimaa energiaa ei siis voi muuttaa, mutta sen lähdettä voi.

### **5.5.2 Ekosuunnittelulainsäädännön tarkoituksenmukaisuus ja soveltuvuus**

Lainsäädännön valmistelun lähtökohtana on oletettavasti osittain ollut koko Euroopan alueella yleisten kaasukäyttöisten läpivirtauslämmittimien käyttö, eikä se siten ole

täydellisesti soveltuva Suomen oloihin, jossa varaajat ovat yleisempiä. Euroopan laajuisiin avoimiin ja läpinäkyviin markkinoihin pyrittäessä maakohtaiset erityisolosuhteet ovat hyvin usein merkityksellisiä. Laskennassa käytetty muuntokerroin 2,5 heikentää sähköllä lämpiävien vedenlämmittimien kilpailukykyä. Sähköntuotannon hyötysuhteen ollessa Suomessa jonkin verran eurooppalaista keskiarvoa korkeampi, on tavanomainen lämminvesivaraaja haastavassa tilanteessa muihin lämpimän käyttöveden tuotantotapoihin verrattaessa. Seuraava muutosmahdollisuus lainsäädäntöön on ekosuunnitteluasetuksen (EU 814/2013) 7 artiklan mukaisesti luvassa, kun Euroopan komissio tuo muutokertoimen pätevyyden uudelleen tarkasteltavaksi viimeistään viiden vuoden sisällä asetuksen voimaantulosta.

Suomessa tavanomaiset varaajat ovat oletettavasti olleet jo pidempään keskimääräistä paremmin eristettyjä kylmemmän ilmaston asettamien vaatimusten johdosta. Markkinoilla on myös ns. tuntemattomampien valmistajien laitteita, joita tuodaan maahan ja jotka eivät välttämättä ole olleet yhtä suorituskykyisiä, joten ekosuunnitteluvaatimukset asettavat kaikki valmistajat samalle lähtöviivalle. Ekosuunnitteluasetuksen (EU 814/2013) lauselman mukaisesti: ”ekosuunnitteluvaatimusten ei tulisi vaikuttaa vedenlämmittimien tai kuumavesisäiliöiden toiminnallisuuteen tai kohtuulliseen hintaan loppukäyttäjän näkökulmasta eikä aiheuttaa kielteisiä terveys-, turvallisuus- tai ympäristövaikutuksia.” Tämä lausuma pätee epäilemättä Suomessa toimivien valmistajien ja useiden muiden toimijoiden kohdalla. Oletettavasti ainoastaan vaatimusten mukaisten arvojen vaatimista testaus aiheuttaa poikkeavia kustannuksia.

Standardien käyttö mittausten tukena selventää asetuksissa annettua mittausohjeistusta. Asetus tulisi kuitenkin olla kirjoitettu auki siten, että arvojen määrittäminen sen avulla on mahdollista ilman standardien käyttöä ja tulkinnallisia virhemahdollisuuksia. Ekosuunnitteluasetuksen sekä sovellettavien standardien ohjeistuksissa on pieniä käytännöllisiä eroja, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Kun ekosuunnitteluasetuksen laskentaohjeistuksessa eli valmisteleivassa työasiakirjassa kehoitetaan käyttämään seisontahäviöiden määrittämisessä lämminvesivaraajan vakio- eli ns. ”out-of-the-box” –asetuksia, olisi standardin mukaisesti käytettävä referenssitermostaattia, joka pitää varaajan lämpötilan välillä 60-65 °C. Koska asetuksessa ei suoraan viitata

standardeihin, eikä anneta tarkkoja ohjeita, jää sovellettava menetelmä tässä vaiheessa tapauskohtaisesti päätettäväksi.

Vuorokautisen sähkönkulutuksen  $Q_{\text{elec}}$  osalta määräävä tekijä on valittu kuormitusprofiili. Tämä toisaalta antaa suuntaa antavan arvion varaajan todellisesta sähkön tarpeesta, mutta samalla rajaa erilaisten varaajien vertailtavuuden sähkönkulutuksen osalta vain saman ilmoitetun kuormitusprofiilin laitteisiin. Kuormitusprofiilien käyttö energiatehokkuuden mittaamisessa antaa realistisen kuvan käyttövesivaraajan todellisesta kulutuksesta suhteessa pelkkiin lämpöhäviölaskelmiin.

## **6 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMIS- MAHDOLLISUUDET LÄMMINVESIVARA AJAN TOIMINTAA JA LÄMMÖN VARASTOINTIA TEHOSTAMALLA**

Varaajan toimintaan vaikuttavilla sisäisillä laiteteknisillä ratkaisuilla voidaan parantaa sen energiatehokkuutta. Lämpötilatason alentaminen, kerrostumisen tehostaminen sekä eristyksen parantaminen ovat ekologisessa energiatehokkaassa suunnittelussa merkitseviä asioita. Lisäksi varaajan kokonaisenergiatehokkuutta ja energialuokitusta voidaan parantaa hyödyntämällä vaihtoehtoisia lämmöntuotantomuotoja hybridijärjestelmän muodossa sekä ottamalla jäteveden lämpöä talteen.

Hybridijärjestelmien käyttö mahdollistaa useamman eri lämmönlähteen käytön hyödyntäen varaajaa ikään kuin lämpöakkuna. Ilma-vesilämpöpumput ja aurinkoenergia ovat lämmönlähteitä, joiden toiminta vaatii lämpimän veden varaajaa.

LTO ei menetelmänä ole suoranaisesti osa varaajaa, mutta se tarvitsee yleensä varaajan toimiakseen tehokkaasti. Tarkasteluun on otettu olemassa olevia järjestelmiä niin pienessä kuin suuremmassakin kokoluokassa. Lisäksi on tarkasteltu jäteveden LTO:n lainsäädännöllisiä sekä taloudellisia haasteita.

Myös muut vettä varastoinnissa hyödyntävät vaihtoehtoiset menetelmät, perinteisempien kiinteistökohtaisten varaajajärjestelmien lisäksi, ovat teknisesti mahdollisia. Energiaa voidaan esimerkiksi varastoida laajoihin kalliovesivarastoihin.



Myös älykkään sähköverkon kaltainen veden varastointivaihtoehto voisi olla mahdollinen.

## **6.1 Varaajan laite- ja säätötekniset energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet**

Varaajan merkitys energiataseen hallinnassa on merkittävä ja sen toimintaperiaatteiden edelleen kehittäminen kannattavaa. Tutkimustietoa vaihtoehtoisista ratkaisuista on runsaasti saatavilla, mutta todelliset käytännön toteutukset odottavat vielä läpimurtoaan. Varaajien säästömahdollisuudet ovat lähtökohtaisesti kuitenkin hyvin rajalliset hyötysuhteiden ollessa yleisesti jopa 95 %. EuP–direktiivin eli nykyisen EcoDesign–direktiivin energiavaikutusten arviointiraportissa mainitaankin, että merkittävimmät säästöpotentiaalit liittyvät muiden tekniikoiden käyttöön. (Gynther et al. 2007, 51.)

Varaajan lämpötilatasoa pidetään selvästi käyttöveden lämpötilaa korkeammalla, mikä lisää lämpöhäviöitä. Erilaiset faasimuutosmateriaalit ja niiden hyödyntäminen lämmön varastoinnissa ovat mielenkiintoisia kemiallisia sovellutuksia, joita kuitenkin hyödynnetään perinteisessä tekniikassa toistaiseksi suhteellisen vähän. Varaajien eristykset ovat yleisesti hyvällä tasolla, mutta myös entistä parempia eristysratkaisuja on tarjolla.

### **6.1.1 Energian säästäminen lämpötilatasoa alentamalla**

Pelkästään energiataloudellisesti tarkasteltuna lämpimän käyttöveden lämpötilan laskeminen lähelle käyttölämpötilaa olisi järkevää. Lämpöhäviöt ovat sitä suuremmat, mitä suurempi on varaajassa olevan veden ja ympäristön lämpötilan erotus. Lämminvesilaitteistossa veden lämpötilan on kuitenkin oltava hygieniasyistä vähintään 55 °C. RakMK D1:n kohdan 2.3.6.1. mukaisesti kylmän veden lämpötilan sen sijaan, on pääsääntöisesti pysyteltävä alle 20 °C:ssa. Rakentamismääräyskokoelmassa annetut lämpötilamääräykset ovatkin varsin hyvin perusteltavissa hygieniasyillä.

Nykyinen lämpötilataso on siis laissa määritetty ja hygienianäkökohdilla perusteltu. Kuitenkin Ruotsissa vastaavat lämpötilat ovat 5 °C matalammat. Paikallisen rakennusviranomaisen, Boverketin (2011, 67) antamien ohjeistusten mukaisesti

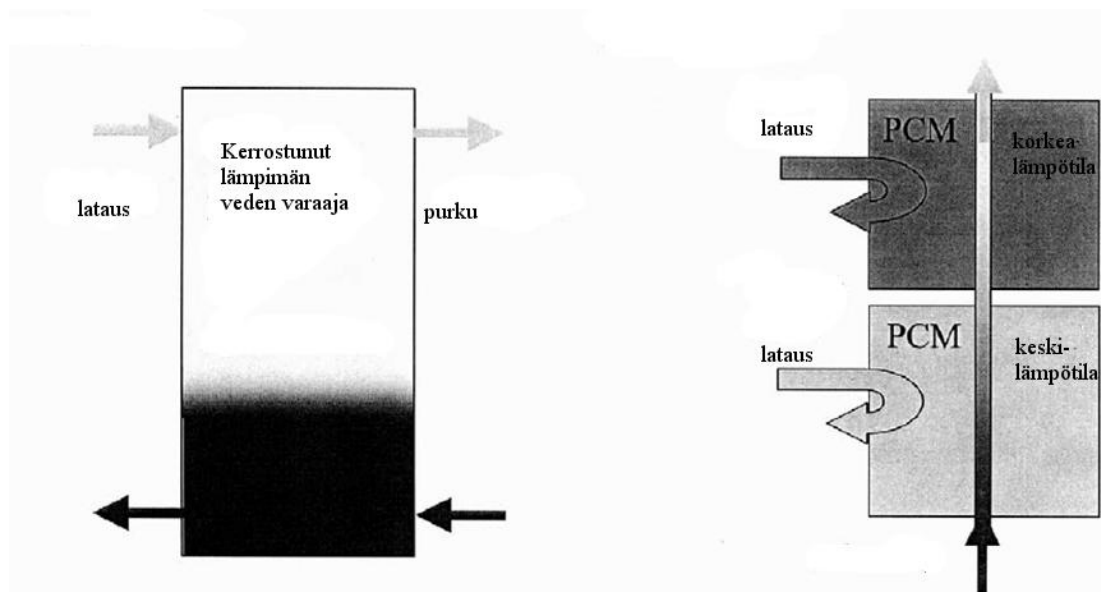
lämminvälineistöstä saatava vesi on oltava vähintään 50 °C ja enintään 60 °C, kun Suomessa vastaavat lukemat ovat 55 °C ja 65 °C. Lämpötilatasojen laskeminen olisi tähän pohjautuen perusteltua myös Suomessa.

Uudemmissa varaajamalleissa voidaan asettaa automaattiseksi jaksottainen korotus esim. kahden viikon välein, jolloin veden lämpötilaa nostetaan vielä normaalia toimintalämpötilaa korkeammaksi esim. 80 °C:een bakteerikasvun tuhoamiseksi.

Monissa kehittyvissä maissa energian säästämiseksi varaajan lämmitys aktivoidaan muutama tunti ennen suihkua ja sammutetaan suihkun jälkeen sen sijaan, että lämpötila pidettäisiin jatkuvasti korkeana kuten mm. Suomessa. Tämä käytäntö heikentää toisaalta automaattista jaksottamista ja pysyvän lämpötilakerrostumisen muodostumista. (Atikol et al. 2006, 53.)

### 6.1.2 Kerrostumisen tehostaminen faasimuutosmateriaaleilla

Varaajassa lämpöä voidaan varastoida myös muihin materiaaleihin kuin veteen käyttäen ns. latenttiratkaisua tai kemikaalipohjaista varastointia. Latenttiratkaisussa voidaan käyttää ns. faasimuutosmateriaaleja (PCM, Phase Changing Material) perinteisen varaavan veden rinnalla. Kuvassa 27 on esitetty menetelmät rinnakkain.



**Kuva 27.** Vaihtoehtoiset lämmönvarastointiratkaisut. Vasemmalla veteen, oikealla faasimuutosmateriaaliin perustuva (Mehling et al. 2003, 701, muokattu).

Faasimuutosmateriaaleilla on suuri energiatiheys, jolloin lämpöä voidaan varata rajoitettuun tilavuuteen veteen verrattuna selvästi enemmän. Faasimuutoksessa kiinteästä nesteeksi aine sitoo lämpöä kun sitä kuumennetaan, mutta sen lämpötila ei nouse. Energia sitoutuu olomuodon muutoksessa hyvin pienellä lämpötilan vaihteluvälillä. Päinvastaisessa reaktiossa se taas luovuttaa lämpöä. Käytettäessä faasimuutosmateriaaleja varaajassa, tulee erilaisia materiaaleja olla kahta tai useampaa eri sulamispisteen omaavaa laatua, jotta saadaan aikaan kerrostumiseen perustuvan varaajan kaltainen lämpötilajakauma. Parhaiten faasimuutosmateriaali toimii tarkoituksenmukaisesti kun lämpötilaerot ovat pienet. Toimivin ratkaisu onkin näiden kahden periaatteen yhdistäminen, jolloin faasimuutosmateriaali sijoitetaan varaajan yläosaan, jossa varastoitu vesi on mahdollisimman lähellä lämpimän käyttöveden lämpötilaa. (Solé et al. 2007, 204-205.)

Faasinmuutoslämpötila on oleellinen kriteeri materiaalin valinnassa ja sen olisi hyvä olla toiminnallisen lämpötilan vaiheilla. Eniten tutkitut puhtaat faasimuutosmateriaalit ovat parafiinit sekä suolahydraatit. Parafiinivaha on suhteellisen edullista, sillä on suhteellisen hyvä lämmönvarauskyky (~200 kJ/kg), mutta rajoittavana tekijänä huono lämmönjohtavuus (~0,2 W/m°C). Suolahydraateilla sen sijaan on kohtuullinen lämmönjohtavuuskyky, mutta haittapuolena alijäähtyminen sekä kemiallinen epävakaus kuumennettaessa. Yhdistelmäateriaaleja muodostamalla saadaan kuitenkin suljettua pois yksittäisten materiaalien huonoimpia ominaisuuksia. (Cabeza et al. 2010, 1679-1683.)

Saksalaisissa testeissä (Mehling et al. 2003, 699-708) varaajaan tilavuudesta 1/16 täytettiin faasimuutosmateriaalilla, joka sijoitettiin tankin ylimpään neljännekseen. Tällöin yläosassa neljäsosa oli faasimuutosmateriaalia ja ¾ vettä. Faasimuutosmateriaali sijoitettiin erillisen kuoren sisään, ettei se päässyt sekoittumaan veteen. Riippuen varaajan eristyksestä sekä faasimuutosmateriaalin faasimuutoslämpötilasta, menetelmällä saavutettiin 20-45 % suurempi energiatiheys ja yläosassa veden lämpötila pysyi korkeampana 50-200 % pidempään.

Kerrostumisen tehokkuutta voidaan kuvailla dimensiottomilla luvuilla. Useiden tutkimusten mukaan osuvin on Richardsonin luku ( $R_i$ ), joka ilmaisee potentiaalienergian ja kineettisen energian suhteen. Richardsonin luku osoittaa kaavan 13 mukaisesti

varaajan kerrostumisessa tapahtuvat entropian ja eksbergian muutokset käyttöjen välissä.  
(Han et al. 1023-1025.)

$$R_i = \frac{g \beta \Delta T_{bottom-top} H}{v^2} \quad (13)$$

jossa

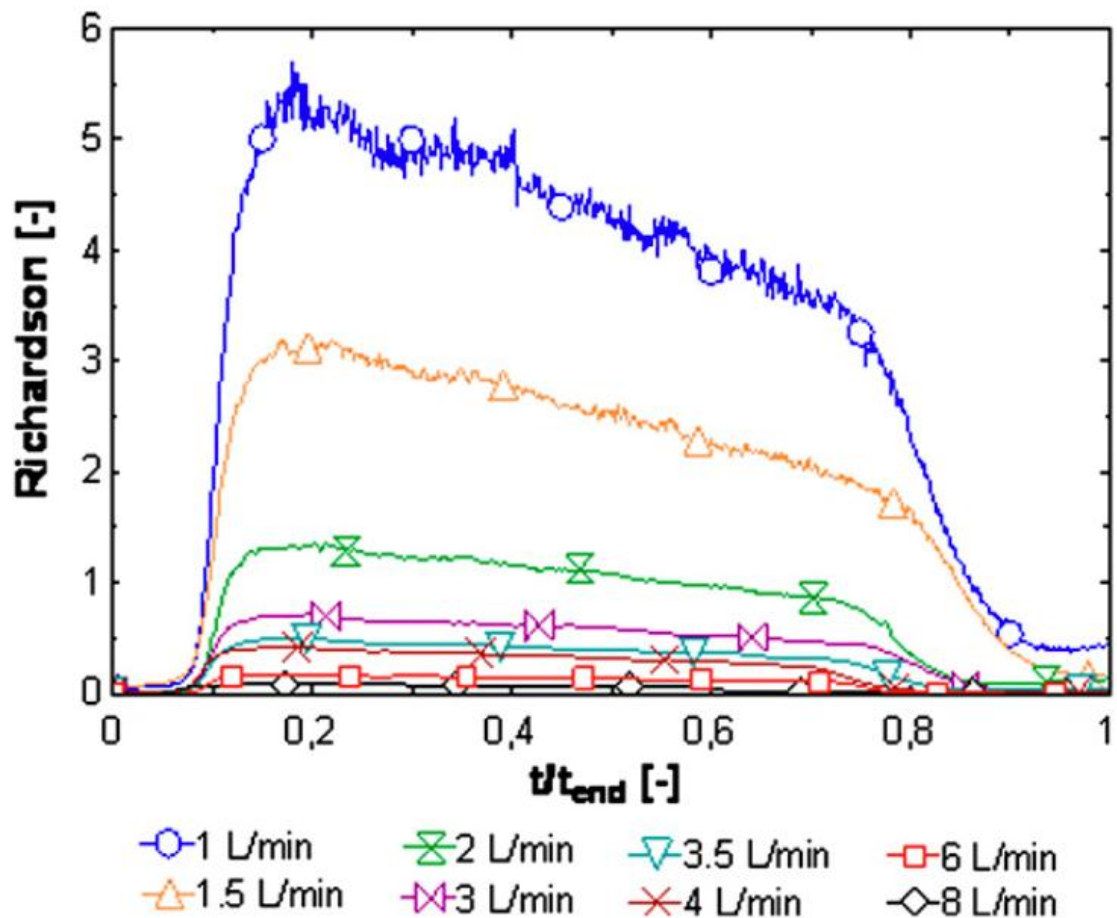
$g$	putoamiskiihtyvyys [ $\text{m/s}^2$ ]
$\beta$	lämpölaajenemiskerroin [ $1/^\circ\text{C}$ ]
$\Delta T_{bottom-top}$	lämpötilaero säiliön ylä- ja alaosan välillä [ $^\circ\text{C}$ ]
$H$	säiliön korkeus [m]
$v$	veden keskimääräinen nopeus säiliön sisällä [m/s]

$$v = \frac{q_m}{\pi \cdot r_{syöttöputki}^2} \quad (14)$$

jossa

$q_m$	tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$r_{syöttöputki}$	syöttöputken säde [m]

Mitä pienempi Richardsonin luku on, sitä herkemmin sisään otettava kylmä vesi tunkeutuu vesimassan läpi ja sitä tehokkaampaa on sekoittuminen, eli stabiilin kerrostumisen aikaansaamiseksi Richardsonin luvun tulisi olla mahdollisimman suuri. Kuva 28 osoittaa Castell et al. (2010, 2196) testien mukaisesti Richardsonin luvun muutokset ajan suhteen kun varaajaan johdetaan kylmää vettä erilaisilla virtausnopeuksilla. Kuvaajasta nähdään, että kerrostuminen on sitä tehokkaampaa mitä pienempi on virtaus.



**Kuva 28.** Richardsonin luvun muutokset ajan suhteen erilaisilla virtausnopeuksilla (Castell et al. 2010, 2196).

Kuitenkin Richardsonin luku ilmaisee kerrostumista laadullisesti, ei niinkään määrällisesti. Péclet'n luku täydentää Richardsonin lukua kerrostumista määritettäessä. Péclet'n luku kuvaa kaavan 15 mukaisesti advektion eli aineen kulkeutumisen aiheuttaman lämmönsiirron suhdetta lämmön johtumiseen. (Castell et al. 2010, 2193 ja 2197-2198.)

$$Pe = \frac{vH}{\alpha} \quad (15)$$

jossa

Pe	Péclet'n luku
H	säiliön korkeus [m]
$\alpha$	terminen diffusiviteetti [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Terminen diffusiviteetti on suuri aineilla, jotka reagoivat termisesti nopeasti ympäristön kanssa. Esimerkiksi huoneen lämpöiselle vedelle  $\alpha$  on  $0,14 \text{ mm/s}^2$  kun esim. tiilelle vastaava on  $0,5 \text{ mm/s}^2$  ja alumiinille  $84 \text{ mm/s}^2$ .

Faasimuutosmateriaaleja on tutkittu hyvinkin laajalti, mutta niitä hyödyntävien menetelmien kaupallistaminen ei ole toistaiseksi onnistunut suuremmassa mittakaavassa. (Cabeza et al. 2010, 1676.)

### 6.1.3 Varaajan eristyksen parantamismahdollisuudet

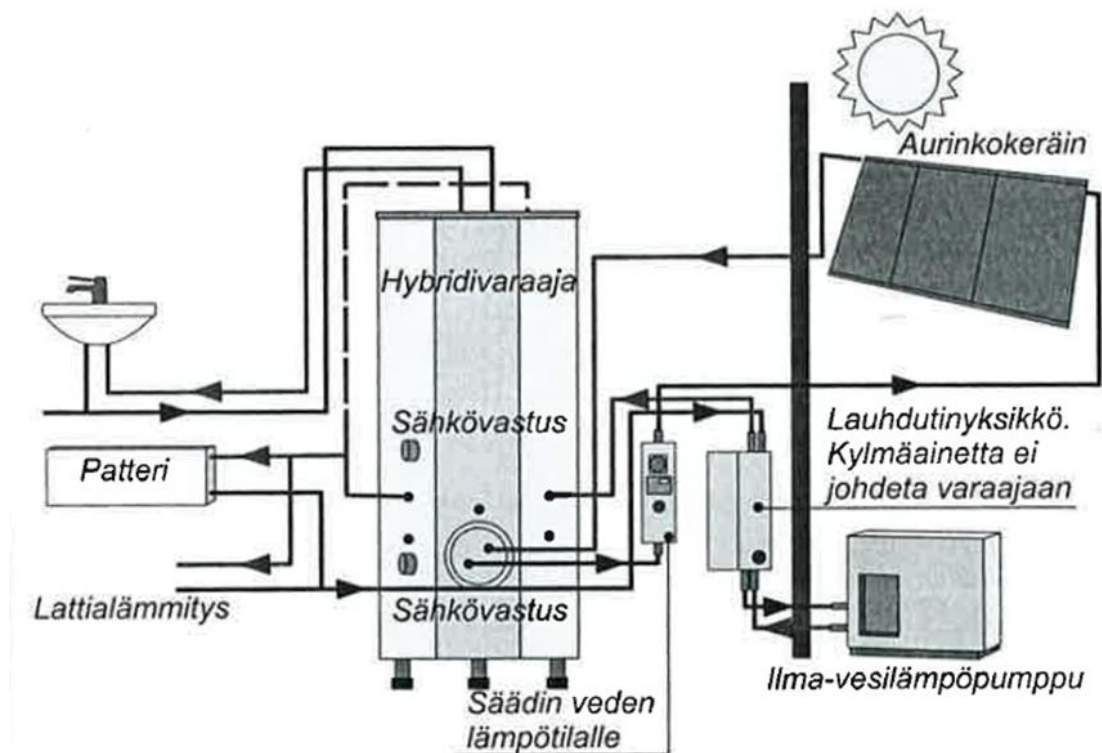
Eristemateriaalien kehitys on myös osa parempaa energiatehokkuussuuntausta. Mikrohuokoinen silikaattivahto, eli aerogeeli olisi teknisesti paras mahdollinen eristemateriaali keveytensä ja lämmöneristävyytensä johdosta. Toistaiseksi suhteellisen suuret valmistuskustannukset ovat kuitenkin hidastaneet sen yleistymistä. Tehokkaana eristysratkaisuna saattaisi toimia kompromissiratkaisu, jossa aerogeeliä käytettäisiin ensin ohut kerros ja loput eristettäisiin perinteisemmällä eristysmateriaalilla, jolla saavutettaisiin kustannustehokas rakenne. Jos eristys toteutetaan vain yhtä materiaalia käyttäen, kuten yleensä on tapana, on polyisosyanuraatti (PIR) kokonaisvaltaisesti kannattavin vaihtoehto kun otetaan huomioon kustannukset, termodynaamiset ominaisuudet sekä ympäristövaikutukset. (Omer et al. 2007, 291.)

Optimaalisin eristyksen paksuus on tapauskohtainen. Eristyksen osalta on tärkeää löytää sopiva eristyspaksuus, jolla lämpöhäviöt saadaan sille tasolle, ettei eristyksen lisääminen tuo enää taloudellisesti merkittävää säästöä suhteessa lisäinvestointiin.

## 6.2 Varaajan potentiaalin hyödyntäminen osana hybridijärjestelmää

Hybridivaraajaa ladataan yhdellä tai useammalla ulkoisella lämmönlähteellä ja se on lisäksi aina varustettu sähköisellä vastuksella, jonka avulla taataan riittävän korkea lämpötila. Tässä työssä käsitelty käyttöveden lämmöntalteenotto ja esim. aurinkokeräin vähentävät yhdessä huomattavasti veden lämmitykseen tarvittavaa energiaa. Varaajaa voidaan ladata myös ilma-vesilämpöpumpulla, jonka avulla lämmitysenergiakustannuksissa voidaan säästää jopa 40-60 % suoraan sähkönkäyttöön verrattuna. (Motiva 2012.)

Kuva 29 esittää hybridivaraajajärjestelmän kytkentöjä sekä toimintaperiaatetta. Järjestelmään on liitetty aurinkokeräin sekä ilma-vesilämpöpumppu ja käyttöveden lämmitys hoidetaan erillisellä sähkövastuksella. Kerääjäpiiristä tuodaan lämpö varaajaan lämmönsiirtimen välityksellä.



Kuva 29. Hybridijärjestelmä eri lämmönlähteisiin liitettynä (Harju 2010, 188).

Ongelmaksi hybridiratkaisuissa on joissain tapauksissa muodostumassa liian matala lämpötilataso. Paljon suosiotaan lisänneet aurinkokeräimet sekä maalämpösovellukset tuottavat lämmintä käyttövedtä, jonka lämpötila jää kuitenkin kauas käyttöveden vaatimasta 55 °C:sta ja useimmissa tapauksissa käyttäjä saattaa tyytyä säätöjen mahdollistaessa tähän. Aurinkokeräin tai maalämpöpumppu ei yleensä yksinään riitä nostamaan käyttöveden lämpötilaa järkevällä hyötysuhteella riittävän korkeaksi, jolloin loppulämmitys tulee hoitaa erillisellä sähkövastuksella tai esim. kattilassa. Maalämpöpumpulla voitaisiin teoriassa myös lämmittää käyttövesi 55 °C:een, mutta tällöin laitteen lämpökerroin (COP) laskisi ja muut ratkaisut tulisivat kannattavammiksi. Maalämpöpumppu on toisaalta yleensä varustettu integroidulla varaajalla, joka sisältää myös sähkövastuksen, ainakin vikatilanteita varten ja usein myös käyttöveden lämmittämiseen.

### **6.3 Lämpimän käyttöveden lämmöntalteenotto (LTO)**

Lämpimän käyttöveden LTO:ssa (*engl.* domestic water heat recovery DWHR) hyödynnetään harmaiden jätevesien sisältämää lämpöenergiaa. Käyttöveden lämpö voidaan ottaa talteen käytön jälkeen eri vaiheissa: suoraan kiinteistössä, jäteveden siirtoputkesta eli viemäristä tai jätevedenkäsittelylaitoksella.

Teollisuudessa lämmöntuotanto on merkittävää ja siellä jo myös osittain käytetään hyödyksi ylimääräistä lämpöenergiaa. Yhdyskunnan jätevesien hukkalämmön hyödyntäminen on vielä alkuvaiheissa ja erityisesti isompien asutuskeskittymien keskitetty lämmöntalteenottoratkaisut ovat erittäin potentiaalisia vaihtoehtoja energian säästämiseksi.

Kiinteistökohtaiset ratkaisut ovat haasteellisempia etupäässä epätasaisemman virtauksen vuoksi. Kiinteistökohtaisia, pienemmän kokoluokan ratkaisuja on tutkittu ja otettu käyttöön suhteellisen vähän, kun taas suuremman kokoluokan sovelluksia on jo yleisesti käytössä. Suomessa kehitettiin jo 80-luvulla ensimmäisiä jäteveden lämmön hyödyntämiseen tarkoitettuja sovelluksia, joiden tekniikka on sittemmin vanhentunutta ja hyödynnetty lähinnä uimahalleissa (Tekes 2013, 8). Keski-Euroopassa ja muissa pohjoismaissa, erityisesti Ruotsissa ja Norjassa, jäteveden lämpöä on käytetty merkittävässä määrin hyödyksi jo useamman vuosikymmenen ajan (Salminen,



Vesitalous 4/2011). Tekesin raportin (2013, 55) mukaan jäteveden hyödyntämisessä lämmöntuottopotentiaali on jopa suurempi, kuin maalämmön tai biokaasun.

Kotitalouskohtaisilla LTO-laitteilla voidaan saada jäteveden sisältämästä lämmöstä talteen jopa 60-70 % ja esilämmittämällä kylmää käyttövetä säästää lämmityskustannuksissa 40-60 % (Tekes 2013, 8). VTT Expert Services Oy testasi suomalaisvalmisteista LTO-laitetta vuonna 2010. Sekoitettun veden normivirtaamalla 0,2 l/s veden lämpötilan ollessa 40 °C, lämmöntalteenoton hyötysuhteeksi muodostui 60 %. (VTT Expert Services 2010.)

LTO:n hyödyntämisessä, erityisesti Suomessa, on olemassa merkittävästi hyödyntämätöntä potentiaalia. Pienten, kotitalouskohtaisten talteenottojärjestelmien kehityksessä on vielä paljon työtä, jotta ne saataisiin yksittäisinä investointeina kannattaviksi ja sitä myöden houkutteleviksi. Muualla hyväksi koettua tekniikkaa on jo saatavilla, enää vain niiden soveltuvuus Suomen oloihin pitää selvittää. Jätevedestä lämmön talteen ottamista tulisikin tarkastella missä tahansa kohteessa, kun lämmitys- ja lämmöntuottojärjestelmää ollaan laajamittaisesti uusimassa. Näissä tapauksissa riittävän tiedon saaminen ja vaihtoehtoisten ratkaisujen tarjoaminen ovat avainasemassa. (Tekes 2013, 55.)

Tässä työssä tarkastelun kohteena ovat kiinteistön sisällä lämpöä talteen ottavat, ensisijaisesti pienemmän kokoluokan lämmöntalteenottoratkaisut, mutta myös suuremman kokoluokan laitoksia ja niiden periaatteita esitellään lyhyesti. Seuraavassa on käsitelty jäteveden lämmön energiapotentiaalia, pienen sekä suuren kokoluokan LTO-ratkaisuja eräiden valmistajien tarjoamien järjestelmien avulla ja käytettävien menetelmien yleistymiseen vaikuttavia vaatimuksia sekä haasteita.

### **6.3.1 Käyttöveden LTO:n toimintaperiaate**

Lämpö voidaan ottaa talteen lämmönsiirtimellä (passiivinen) tai lämpöpumpputekniikkaa hyödyntäen (aktiivinen). Yleisesti ottaen lämmönsiirtimiä käytetään pienemmässä kokoluokassa kohtuullisten investointikustannusten vuoksi ja tehokkaampaa sekä investointikustannuksiltaan kalliimpaa lämpöpumpputekniikkaa suuremman kokoluokan sovelluksissa. Kiinteistökohtaisissa ratkaisuissa viemäriin ohjautuvan lämpimän käyttöveden hyödyntämiselle on olemassa kaksi mallia:

varastoida hukkalämpö varaajaan tai ohjata hyödynnettävä lämpö suoraan käytettäväksi. Käytännössä varaajan käyttö lämmöntalteenoton hyödyntämismuotona on teknisesti tehokkaampi ja toimivampi ratkaisu epätasaisen kuormituksen vuoksi. (Tekes 2013, 5 ja 55.)

Tehokkuuteen ja saataviin säästöihin vaikuttavat vaihtuva ympäristön lämpötila ja sitä myöten vaihteleva kylmän veden lämpötila sekä käyttäjän toimesta johtuvat vaihteleva lämpimän veden määrä ja lämpötilan tarpeet. Lämpimän käyttöveden talteenotto on maantieteellisesti tarkasteltuna kannattavinta lauhkeilla tai sitä kylmemmillä alueilla. Lämpimissä maissa kylmän veden lämpötila on suhteessa korkeampi, jolloin talteenoton hyötysuhde laskee. (McNabola ja Shields 2010, 12.) Yli kolmannes käytettävästä vedestä on lämmintä käytöväettä, mutta sen osuus saattaa laskea kesällä 20-30 %:iin ja talvella taas olla yli 50 %, joka on edullista lämmöntalteenoton kannalta, sillä talvella vedestä saatava hukkalämpö on myös tehokkaammin hyödynnettävissä (Seppänen 2001, 247).

Seppäsen (2001, 260) mukaan lämmöntalteenotto jätevedestä ei kuitenkaan usein ole taloudellisesti kannattavaa. Mahdollista se kuitenkin on, kunhan mustat jätevedet, etupäässä WC:n jätevedet, erotetaan harmaasta jätevedestä. Järkevintä Seppäsen mielestä olisi ottaa talteen jätevedestä lämpöä kohteissa, joissa virtaamat ovat suurempia ja jätevedet lämpimiä kuten uimahalleissa ja kylpylöissä.

Jäteveden lämmön hyödyntämistä ei määritellä uusiutuvaksi energiaksi EU:n RES – direktiivin (2009/28/EC) eli uusiutuvan energian direktiivin mukaisesti, koska jätevesi on lämmitetty korkeampaan lämpötilaan tarkoituksellisesti, kun taas esimerkiksi lämpöpumppujen tuottama energia lasketaan kuuluvaksi uusiutuvan energiaan piiriin (Salminen, Vesitalous 4/2011).

Jäteveden lämmöntalteenoton osalta tutkimusta on tehty globaalisti ja erityisesti pohjoismaissa sekä Keski-Euroopassa. Käyttöveden lämmöntalteenottoa on tutkittu ja kehitetty merkittävästi myös Pohjois-Amerikassa. Euroopassa paikallisesti soveltuvia kotitalouskäyttöön tarkoitettuja ratkaisuja on tullut saataville ainakin Hollannissa. Tekes julkaisi vuoden 2013 alussa kattavan katsauksen jäteveden lämmön hyötykäytöstä ja saatavilla on muutamia yksittäisiä malleja, mutta varsinaisia merkittäviä käyttötoteja tai muuta kokeilevaa tutkimusta ei Suomessa ole toistaiseksi tehty.

### 6.3.2 Käyttöveden LTO:n säästöpotentiaali

Kuten aikaisemmin laskettiin, on veden mukana viemäriin menevän lämpöenergian määrä merkittävä – suihkun tapauksessa hetkellinen lämmitysteho on jopa 15-20 kW. Jos keskimääräiseksi suihkuveden lämpötilaksi valitaan 38 °C, on lämpötila kaivoon laskettavalla vedellä, josta lämpöä voitaisiin ottaa talteen, todellisuudessa jonkin verran matalampi. Veden lämpötilan laskun voidaan olettaa olevan suurimmillaan jopa 5-6 °C suihkun ja kaivon välillä (Fiskum 2002). Lämpimän käyttöveden talteenottolaitteilla kylmä käyttövesi saadaan kuitenkin esilämmitettyä jopa 10-15 °C tulolämpötilaa korkeammaksi, jolloin käyttöveden lämmitykseen kuluu vähemmän energiaa. LTO:n avulla esilämmitetty vesi lämmitetään tämän jälkeen yleensä varaajassa sähkövastuksella tavoitelämpötilaan, RakMK D1:n vaatimaan yli 55 °C:een.

Lämpimän käyttöveden energian tarpeen määrittämisen yhteydessä, luvussa 5.4.3, laskettiin energian tarve erikseen perinteiselle järjestelmälle sekä LTO:lla varustetulle. Näiden erotus  $Q_{kv,LTO,säästö} = 5\,533\text{ kWh} - 3\,759\text{ kWh} = 1\,774\text{ kWh}$  on suuntaa antava arvio LTO:n säästöpotentiaalista. Kun E-luvun laskennassa käytetyssä kokonaisenergiatarkastelussa sähkölle on annettu energiamuodon kertoimeksi 1,7, on E-luvun lasketaan vaikuttava vähennys 120 m<sup>2</sup> rakennuksessa

$$1,7 \cdot \frac{1\,774\text{ kWh/a}}{120\text{ m}^2} = 25,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}/\text{a} \quad (16)$$

Esimerkiksi uuden 120 m<sup>2</sup> pientalon E-luku ei RakMK D3:n mukaan saa ylittää arvoa 204 kWh/m<sup>2</sup>/a, joten talteen otettavan lämmön vaikutusta E-luvun laskentaan voidaan pitää merkittävänä.

Samaista 1 774 kWh/a säästöä voidaan käyttää myös kustannuslaskelmissa. Oletetaan, että vesi lämmitetään sähköllä lämminvesivaraajassa, sähkön kuluttajahinnaksi valitaan kerros- ja pientaloasukkaiden väliltä hintataulukosta 7,5 snt/kWh (Energiamarkkinavirasto 2013).

$$\left[\frac{\text{snt}}{a}\right] = \frac{Q_{\text{kv,LTO,säästö}} \cdot \text{sähkön hinta}}{100} \quad (17)$$

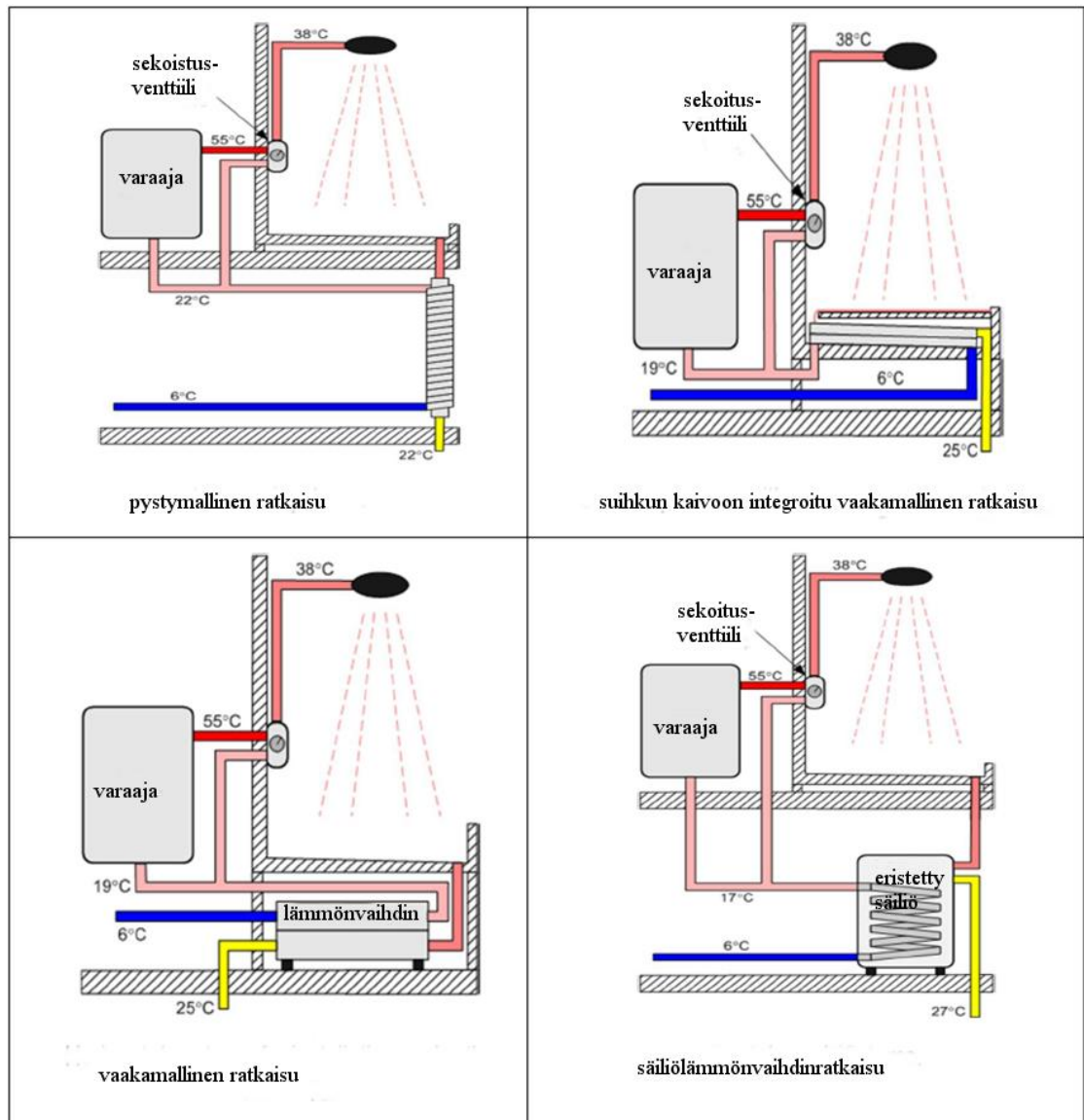
$$\frac{1\,774 \frac{\text{kWh}}{a} \cdot 7,5 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}}{100} = 3192 \text{ snt/a} \quad (18)$$

Vuotuinen säästö nelihenkiselle 120 m<sup>2</sup> pientalolle olisi siten 32 €/a. Pystymällisen LTO-laitteen hankintahinta on Pohjois-Amerikassa 500-700 yhdysvaltain dollaria eli n. 350-500 € (Tekes 2013, 8).

### 6.3.3 Markkinoilla olevia laiteratkaisuja

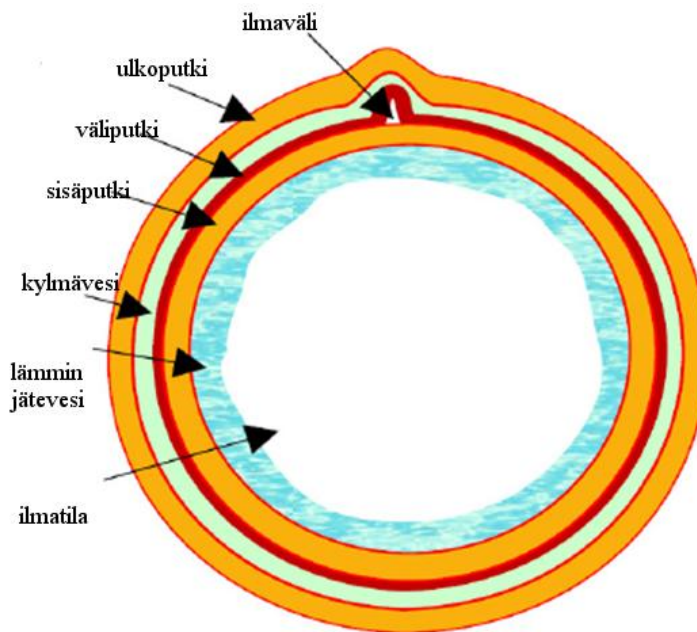
Kotitalouskohtaisen käyttöveden lämmöntalteenoton suurin haaste on käytön epätasaisuus. Lämpimän käyttöveden kulutus ajoittuu erityisesti pientaloissa yleensä hyvin kapealle ajanjaksolle (Määttä 1993, 18). Toisaalta varaajaan tehtävää lämmöntalteenottoa helpottaa esim. suihkun aikana vallitseva tilanne, jossa sisään virtaavan kylmän veden ja ulos virtaavan lämpimän käyttöveden määrä ovat samansuuruiset. Pienen kokoluokan ratkaisuissa etuna on, etteivät ne tarvitse erillistä pumppua, sillä toiminta perustuu yleensä täysin vapaaseen kiertoon.

Laitteet voidaan jakaa pääpiirteittäin neljään kategoriaan kuvan 30 mukaisesti: vertikaalisiin eli pystymallisiin lämmönsiirtimiin, horisontaalisiin eli pitkittäisiin lämmönsiirtimiin, säiliöön lämpöä varastoiiviin lämmönsiirtimiin sekä suihkun lattiaan tai kaivoon integroituihin järjestelmiin.



**Kuva 30.** Kotitalouskohtaisia suihkun lämmöntalteenottoratkaisuvaihtoehtoja (Tekes 2013, 9, muokattu).

Pystymallinen eli vertikaali vaihtoehto on yleensä tehokkain, mutta vaatii asennuksessa muutaman metrin pystysuoran tilan suihkun alta, esimerkiksi kellarista (Tekes 2013, 8). Jätevesi ohjataan painovoimaisena läpivirtauksena putken sisäosan pintaa pitkin ohuena vesikalvona kuvan 31 mukaisesti. Toiseen suuntaan virtaava kylmä käyttövesi esilämmitetään jätevedestä saatavalla lämmöllä.



**Kuva 31.** Recoh-vert lämmöntalteenottolaitteen putken rakenne (Jørgensen 2013, muokattu).

Kanadassa pienen kokoluokan lämmöntalteenottojärjestelmät ovat jo yleisesti käytössä ja siellä on laadittu jopa kansallinen standardi (CSA B55.2-12) käyttöveden lämmöntalteenottoa varten. Paikallisen talotekniikan tutkimuskeskuksen toimesta on laadittu vertailevia testejä markkinoille oleville lämmöntalteenottoratkaisuille. Testeissä niiden todettiin olevan toimivia, kunhan huomioidaan, että tehokkuus on riippuvainen käyttäjän kulutustottumuksista, paras teho saavutetaan paljon vettä käyttävissä talouksissa ja painehäviöihin tulee kiinnittää huomiota kunnallisen vesijohtoverkon ulkopuolella asuvien kohdalla. Kanadalainen energiatehokkuusvirasto pitää lisäksi listaa laitteista ja niiden hyötysuhteista, jotka on hyväksytysti testattu riippumattoman tahon toimesta. (CMHC 2007.)

Suomen markkinoilla pienen kokoluokan lämpimän käyttöveden talteenottoratkaisut ovat vielä vähissä. Tekesin (2013, 9-10) jäteveden lämmöntalteenottokatsauksessa kiinteistökäyttöön soveltuvien ratkaisujen valmistajia listattiin olevan maailmanlaajuisesti n. 15, joista pohjoismaissa kolmasosa, Keski-Euroopassa kolmannes ja loput Pohjois-Amerikassa. Suomalaisen valmistajien kaupalliseen käyttöön tarkoitettuja laitteistoja ei ole toistaiseksi saatavilla. Kaupallisten versioiden lisäksi markkinoilla on olemassa myös hyvin yksinkertaisia ratkaisuja sekä vaihtoehtoisia tee-se-itse-menetelmiä. Suoraa putkipintaa ilman väliainetta käyttävät ratkaisut ovat kuitenkin RakMK D1:n ohjeistuksen vastaisia.

Lämmöntalteenotto on kuitenkin yleisempää suuremmassa kokoluokassa. Suuremman kokoluokan ratkaisuilla tarkoitetaan asuin-, liike- ja julkisiin kiinteistöihin sekä teollisuuteen soveltuvia laitteita. Näille on tyypillistä, että vesimäärät ovat kotitalouskohtaisia tapauksia suuremmat ja jatkuvammat. Keskisuuret ja sitä suuremman kokoluokan jäteveden lämmöntalteenottoratkaisut ovat osoittautuneet toteutettujen ratkaisujen määrän perusteella taloudellisesti kannattaviksi investoinneiksi. Tasaiset jätevesimäärät mahdollistavat laitteiston tehokkaamman mitoituksen. Näidenkin osalta merkittävämpi potentiaali on kuitenkin vielä realisoimatta. Suurimpien vesihuoltolaitosten kohdalla vaihtoehtoja on kartoitettu ja ratkaisuja tehty. Kun sadan suurimman puhdistamon läpi virtaa 200 miljoonaa m<sup>3</sup> jätevettä, on lämpöenergiaa mahdollista ottaa talteen nykyistä merkittävästi suuremmat määrät. (Tekes 2013, 56.)

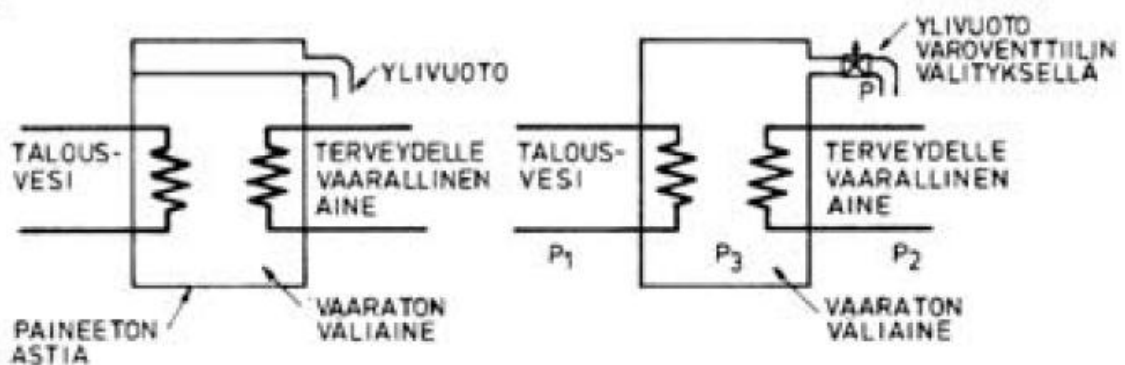
Suomessa tunnetuin suuremman kokoluokan jäteveden lämmöntalteenottoratkaisu on Helsingin Energian hallinnoima Katri Valan lämpöpumppulaitos, jonne puhdistettu yhdyskunnan jätevesi johdetaan kootusti ennen sen laskemista mereen. Laitos tuottaa kaukolämpöä 90 MW:n tuotantoteholla 260 000 m<sup>3</sup> päivittäisestä veden virtaamasta. (Teknologiateollisuus ry 2012, 28.)

#### **6.3.4 Talteenottoon liittyviä vaatimuksia ja haasteita**

Jäteveden lämmöntalteenotossa harmaat ja mustat jätevedet tulee erotella toisistaan. Erotteluun riittää kiinteistökohtaisesti kaksoisviemäröinti, jotta ns. mustat jätevedet eli WC-istuinten jätevedet saadaan johdettua suoraan viemäriin niiden sisältämän vähäisen lämpöenergian ja likaavuutensa vuoksi.

Laitteisto on tehtävä RakMK D1 määräyksen 2.3.4 mukaisesti sellaiseksi, että veden takaisinimeytyminen on estetty käyttäen ensisijaisesti yksinkertaista ilmaväliä tai vaihtoehtoisesti tyhjöventtiiliä yhdessä yksisuuntaventtiilin kanssa, pelkkää tyhjöventtiiliä tai takaisku- eli yksisuuntaventtiiliä. Jos esim. käyttöveden kiertopiirissä on muuta kuin vettä, on varaajassa oltava kaksoisvaippainen lämmönsiirrin (Seppänen 2001, 253). RakMK D1 liitteessä 1 on määritelty tarkemmin tarvittavat suojaukset. Talousveden saastumiselta suojaava standardi (SFS-EN 1717:2001) määrittelee tarvittavat menetelmät takaisinimun osalta.

Lämmöntalteenottolaitteiston kohdalla takaisinimusuojaus tulee huomioida nimenomaan käyttöveden puolella, jotta vian sattuessa jätevesi ei pääse imeytymään vesijohtoverkoston. Kotitalouskohtaisissa laitteissa yleisin takaisinimusuojaus on toteutettu yksisuunta- eli takaiskuventtiilillä. Saniteettitiloissa jäteveden osalta ilmaväli toteutuu käyttökohteessa eli esim. pesualtaassa tai suihkussa. Lämmöntalteenotto tulisi RakMK D1 2.3.4.2 mukaisesti toteuttaa siten, ettei talousveteen pääse sekoittumaan saastuttavia aineita kuten jätevettä, kylmäainetta tai glykolia, joko vuotamalla tai diffundoitumalla putken seinämän läpi. RakMK D1 ohjeistaa esimerkkiratkaisuun, jossa talousvesi eli käyttövesi sekä jätevesi johdetaan kierukan läpi vaarattomassa lämpöä johtavassa väliaineessa. Väliaine on sijoitettu joko ylivuodolla varustettuun paineistamattomaan astiaan tai varoventtiilillä varustettuun paineistettuun astiaan, jotka ovat varustettu lisäksi hälytyksellä. Menetelmä on kuvattu kuvassa 32.



**Kuva 32.** Esimerkkijärjestely lämmöntalteenottolaitteistolle RakMK D1:n mukaan (RakMK D1, 8).



RakMK D1 ei kuitenkaan suoraan aseta määräyksiä lämmöntalteenoton tarkemmista ominaisuuksista. Takaisinimusuojauksen toteuttaminen sekä putken läpi tapahtuvan jäteveden sekoittumisen estäminen riittävät määräysten osalta jäteveden lämmöntalteenottolaitteistoa suunniteltaessa.

Jäteveden lämmöntalteenoton ohjeistuksen osalta lainsäädäntö on puutteellista ja ohjeistusta paremman hyödyntämisen mahdollistamiseksi tulisi lisätä. Esimerkiksi matalaenergiarakentamisen ohjeistuksissa jäteveden lämmön hyödyntämistä usein sivutaan, mutta käyttökelpoisia ratkaisuja ei kuitenkaan tarjota (Tekes 2013, 56).

Jätevesien sisältämien epäpuhtauksien vuoksi lämmönsiirtopintojen likaantuminen pintamateriaaleihin kehittyvän biofilmin myötä alentaa laitteen hyötysuhdetta ja energiatehokkuutta. Virtauksen optimointi on säännöllisen puhdistuksen lisäksi merkittävä tekijä ja tässä suhteessa aiemmin esitellyissä pienen kokoluokan laitteistoissa pystymalliset ratkaisut erottuvat edukseen. (Tekes 2013, 42.) Jäteveden lämmöntalteenotto tulisi lisäksi aina varustaa lämmönsiirtopintojen automaattisella puhdistuslaitteella (Seppänen 2001, 260).

Käyttöveden lämmöntalteenotto lisää hieman putkiston painehäviöitä, jotka on lisäksi otettava huomioon putkiston mitoituksessa. RakMK D1 Liite 2 mukaisessa putkiston mitoitusohjeessa yksittäisen vesikalusteen painehäviön arvona käytetään vähintään 150 kPa. Pystymallisten lämmön talteenottolaitteiden kohdalla painehäviöt jäävät tätä pienemmiksi, eikä niillä ole merkittävää vaikutusta ja painehäviön merkityksen voidaan oikein mitoitetuissa putkistoissa todeta olevan vähäistä.

## **6.4 Muita vaihtoehtoisia ratkaisuja lämmön varastointiin**

Lämmintä vettä voidaan varastoida myös suuremmassa kokoluokassa. Kaukolämpöä varastoidaan lyhytaikaisesti mm. suuriin terässäiliöihin sekä kalliosäiliöihin. Toiminta perustuu samoihin periaatteisiin mm. lämpötilakerrostumisen osalta kuin pienen kokoluokan varaajissa. Kaukolämmön varastoinnissa lämpötilat ovat kuitenkin selvästi suuremmat; usein yli 100 °C:n ja kalliovarastoja on suunniteltu käytettäväksi jopa 160 °C:lle. Kalliovarastoinnissa huomioitavaa on myös ympäröivän kallion hyödyntäminen varauksessa. Muutamassa vuodessa kallio sitoo lämpöä siten, että sen lämpötila

tasaantuu varastoitavan veden tasolle. Tällöin lämpöhäviöt pienenevät merkittävästi. (Koskelainen et al. 2006, 368-367.)

Sähköenergian kohdalla ovat yleistymässä ns. älykkäät sähköverkot (*engl.* smart grid), joiden tehtävänä on tasata sähkön kulutusta automaatiota hyödyntäen. Lämpöenergian hallinnassa ollaan epäilemättä menossa samaan suuntaan, mutta rajoittavana tekijänä suuremmassa mittakaavassa on lämmön hitaampi siirrettävyys. Älykäs ohjausjärjestelmä ja lämpimän veden varastoinnin integroiminen osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää on kuitenkin edellytyksenä seuraavien vaihtoehtojen tehokkaalle hyödyntämiselle.

Älykkään järjestelmän avulla esim. epätasaisen sähköntuotannon varastoiminen saattaisi olla kannattavaa hyvin eristetyssä varaajassa muuntamalla sähkö ensin lämmöksi. Myös asiakaskohtaisella tunti hinnoittelulla olisi mahdollista hyödyntää edullisempia tariffeja ja näin ollen tasata vuorokautista kuormitusta. Markkinoilla on jo tarjolla palvelukokonaisuuksia, joissa automaatio lämmittää varaajaa sähkön tuntihintoihin ja sääennusteeseen pohjautuen.

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Nollaenergiatalojen ja tehokkaamman eristyksen lisääntyessä lämpimän käyttöveden tarvitseman energian suhteellinen osuus rakennuksen lämmitysenergiasta tulee väistämättä kasvamaan. Lämpimän veden ja sen lämmittämiseen käytetyn energiankulutusta on varaajan taserajan sisäpuolella kuitenkin vaikea tekniikan keinoin entisestään vähentää. Tällöin jäljelle jäävät ulkopuoliset keinot, joilla lämpimän käyttöveden tarvitsemaa nettoenergiaa voidaan vähentää. Vaikka vedenkulutusta on teknisillä ratkaisulla saatu laskettua, voitaisiin kulutustottumuksia muuttamalla saavuttaa entistä pienempiä kulutuslukemia.

Varaajan toimintaperiaatteen yksinkertaisuudesta huolimatta sen ympärille rakentuva järjestelmä on laaja ja moniulotteinen. Hybridijärjestelmät antavat lämmön varastoinnille rajattomia mahdollisuuksia ja niiden kohdalla varastoinnin hyödyntämispotentialiaali on tavanomaisia käyttövesivaraajia suurempi mahdollisten matalampien lämpötilatasojen vuoksi. Toisaalta tarkastelun rajaaminen vain

käyttövesivaraajaan ja varaajan taserajan sekä perustoiminnan sisäpuolelle olisi kuitenkin jättänyt aiheen kattavuuden kohtuuttoman kapeaksi.

Vaikka legionella–bakteerin esiintyminen ei ole vakava ongelma nykypäivän Suomessa, on varaajan lämpötilatason laskemisessa kuitenkin olemassa riskinsä. Koska järjestelmän paikat, joissa vesi vaihtuu hitaasti, ovat hyviä kasvupaikkoja legionella–bakteerille, voidaan varaajaa pitää riskialttiimpana järjestelmänä lämpimän veden takaamiseksi verrattuna lämmönsiirtimellä tapahtuvaan lämmittämiseen. Lämpötilatason alarajan laskemista tulisi siitä huolimatta myös harkita Ruotsin mallin mukaisesti. Jo viiden asteen laskemisella olisi merkitystä, huolimatta lämpöhäviöiden alati laskevasta osuudesta.

Ekosuunnittelu- ja energiamerkintäasetukset eivät aiheuttane suuria muutoksia tavanomaisten käyttövesivaraajien suunnitteluun, nykyisten varaajien suorituskyvyn ollessa suhteellisen korkealla tasolla. Erityisesti Suomen olosuhteissa lämpöhäviöiden ei voida katsoa olevan nykyaikaisissa varaajissa ongelmana, sillä esim. käyttövesiverkoston kiertohäviöt ovat yleensä varastointihäviöitä suuremmat. Tavanomaisten varaajien eristyksen perustaso on usein riittävää ja sen lisääminen ei tuo suhteessa kustannuksiin merkittävää hyötyä. Sen sijaan vanhan varaajan eristäminen voi olla hyvinkin kannattavaa. Varaajasta ekosuunnittelumittausten yhteydessä määritetty ylläpitosähkönkulutus eli lämpöhäviöt olivat samaa suuruusluokkaa RakMK D5:ssä annetun hyvin eristetyn varaajan lämpöhäviöiden kanssa.

Testattavana olleen vaakamallin kohdalla lämpötilakerrostuminen voidaan olettaa vastaavaa pystymallista varaajaa heikommaksi. Kun pystymallisessa lämmin vesi otetaan varaajan yläosasta, tyydytään vaakamallisessa käyttämään säiliön pohjassa olevaa yhdettä. Ekosuunnitteluvaatimusten toteutumisen vertaaminen lähes vastaavanlaiseen pystymalliseen varaajaan olisi kannattavaa ja antaisi tietoa geometrian vaikutuksista. Lämpötilakerrostumisen jakaantumista ja eroavaisuuksia eri mallien välillä voitaisiin myös tutkia tarkemmin useasta eri pisteestä mittaamalla.

Ekosuunnitteluvaatimukset täyttävät nykyisessä muodossa tehtävänsä. Läpinäkyvyyden ja vertailun parantuminen ovat asiakkaalle selviä etuja. Aikaisemmin varaajien suorituskykyvertailu on ollut haastavaa, ellei jopa mahdotonta. Vaikka testausmenetelmä ei olisikaan täysin tasapuolinen eri lämmönlähteitä käyttäville

vedenlämmittimille, asettaa se kuitenkin tuoteryhmälle suunnittelun lähtökohdat ja suorituskyvyn vähimmäisvaatimukset. Energiatehokkuuden laskennassa käytetyn sähkön muuntokertoimen voidaan katsoa kuitenkin olevan epäedullinen Suomen olosuhteisiin nähden, jossa sähköllä lämpiävien käyttövesivaraajien osuus on Euroopan tasoon suhteutettuna merkittävä ja sähköntuotannon hyötysuhde CPH-tuotannon ansiosta korkea.

Varaajiin liittyvä kirjallisuus on kattavaa, mutta samalla myös hyvin hajanaista kansainvälisellä tasolla olevien eroavaisuuksien johdosta. Vaihtoehtoista tutkimustietoa erityisesti lämpötilakerrostumisesta ja lämmöntalteenotosta on saatavilla, mutta senkin osalta rajaaminen on haastavaa. Suomessa vallitseva sääolosuhteiden vaihtelu, erityisesti lämpötilojen osalta on merkittävä tekijä käyttöveden lämmöntalteenotossa. Käyttöveden LTO:n kohdalla suuremman kokoluokan ratkaisuja on käytössä ja niiden hyödyntäminen tulee epäilemättä positiivisten käyttökokemusten myötä edelleen lisääntymään. Myös kotitalouskohtaiset ratkaisut voisivat olla entistä suosittumia tuotetietoisuuden lisääntyessä. Edellytyksenä laitteiden lisääntymiselle on joka tapauksessa, että takaisinmaksuajat pysyvät kohtuullisina. Myös paikallisiin oloihin soveltuvat käyttötestit olisivat tarpeellisia, vaikka tekniset edellytykset laitteiden yleistymiseen olisivatkin muutoin olemassa. Käyttöveden LTO:n kohdalla on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota viemäriin poistuvan jäteveden lämpötilaan, jonka merkittävä alentuminen voi aiheuttaa ongelmia.

Ekosuunnitteluvaatimusten suora vaikutus rakennusten energianhallintaan Suomessa on vähäinen. Vaatimukset eivät koske käytössä olevia varaajia, ja kuten todettua, nykyisellään uusien varaajien lämpöhäviöt ovat jo suhteellisen vähäiset eikä esim. parempi eristys välttämättä ole kannattavaa. Pidemmällä aikavälillä, käyttöveden lämmityksen energiantarpeen suhteellisen osuuden kasvaessa, varaajien energiatehokkaan toiminnan merkitys kasvaa ja ekosuunnitteluvaatimukset tukevat tätä kehitystä.

## 8 YHTEENVETO

Kasvihuonekaasupäästöjen jatkuvaa kasvua on hillittävä ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja energiankulutuksella on siinä merkittävä rooli. Rakennusten käytönaikainen energiankulutus on n. 40 % kaikesta primäärienergiankulutuksesta. Tästä edelleen viidennes kuluu käyttöveden lämmitykseen. EU –lainsäädännön ohjaamana rakennusten energiatehokkuutta pyritään kehittämään ja lämpimän käyttöveden merkitys on lämmityksen ohella suuri.

Ekosuunnittelu- ja energiamerkintäasetukset tulevat asettamaan lähivuosien aikana vaatimuksia käyttövesivaraajien energiatehokkuudelle. Myös tulossa oleva tuotehyväksyntämenettely juomaveden kanssa kosketuksissa oleville laitteille tuo lainsäädännöllisiä velvoitteita käyttövesivaraajille. Lämpimän käyttöveden laatu- ja hygieniavaatimuksille on nykyisessä lainsäädännössä annettu määräykset lähinnä lämpötilatasojen osalta haitallisen bakteerikasvun ehkäisemiseksi.

Työn tavoitteena oli ekosuunnitteluasetuksen mukaisen mittausjärjestelmän laatiminen ja tulosten arviointi sekä vaikutukset varaajan toimintaan rakennuksen energianhallinnassa. Lisäksi tarkasteltiin ekosuunnittelulainsäädännön tarkoituksenmukaisuutta sekä soveltuvuutta paikallisiin olosuhteisiin. Myös varaajan keskeisimmät ominaisuudet ja toimintaperiaatteet on määritetty. Tarkempaan tarkasteluun valittiin ensisijaisesti tavanomainen ja yleinen, sähkövastuksella varustettu käyttövesivaraaja.

Toiminnallisesti yksinkertaisen käyttövesivaraajan energiataseeseen vaikuttavat merkittävimmin varaajassa oleva lämpötilataso, lämmityksen jaksottaminen, lämpötilakerrostuminen sekä eristyksen tehokkuus. Esimerkiksi lämpötilatasojen alentaminen on teknisesti mahdollista ja esim. 5 °C:n pudotus määräyksissä annettuun 55 °C:n alarajaan olisi toteutettavissa ilman merkittäviä hygieenisiä riskejä. Lämpötilakerrostuminen varaajan säiliössä on merkittävä tekijä energiatehokkuuden kannalta ja sen kohdalla kehityspotentiaalia on vielä olemassa. Eristyksen osalta yleisimmät varaajat täyttävät vaatimukset eikä lisäeristämällä välttämättä saavutettaisi merkittäviä etuja. Varaajan lämpöhäviöiden merkitys on yleensä jopa kiertohäviöitä pienempi.

Käyttöveden tuotannossa lämpimän käyttöveden hetkellinen lämmitysteho on suhteellisen suuri. Varaajan tarkoituksena onkin huipputehon tasoittaminen, kun lämpö tuotetaan paikallisesti.

Ekosuunnitteluvaatimukset asettavat minivaatimukset varaajan energiatehokkuudelle. Käyttövesivaraajalle tulee määrittää energiatehokkuus  $\eta_{wh}$ , 40 °C:n veden saanto  $V_{40}$  sekä vuorokautinen sähkönkulutus  $Q_{elec}$ , joiden avulla määrytyy oikea energialuokitus. Testattu varaaja saavutti ekosuunnitteluasetuksessa vaadittavat vähimmäisarvot. Saaduista tuloksista nähdään energiatehokkuuden olevan hyvällä tasolla.

Asetuksen mukainen menetelmä ei täysin sovellu Suomen olosuhteisiin. Sähkölle annettu energiakerroin, 2,5, heikentää tavanomaisen käyttövesivaraajan asemaa vertailussa muita energialähteitä hyödyntäviin vedenlämmittämiin. Suomessa sähköntuotannon hyötysuhde on jonkin verran ja sähköisten käyttövesivaraajien osuus vedenlämmittimistä selvästi eurooppalaista keskiarvoa korkeampi.

Käyttövesivaraajien osalta ekosuunnittelu- ja energiamerkintävaatimukset lisäävät laitteiden vertailtavuutta ja poistavat ainakin heikoimmat laitteet markkinoilta eli ovat siltä osin tarkoituksenmukaiset. Niiden vaikutus rakennusten energianhallintaan on Suomessa kuitenkin vähäinen, markkinoilla olevien varaajien suhteellisen korkean energiatehokkuustason johdosta.

Hybridiratkaisut lämpöenergian varastoinemiseksi veteen lisääntyvät jatkuvasti, kun vaihtoehtoisten lämmönlähteiden hyödyntämistä pyritään lisäämään. Käyttöveden lämmöntalteenotolla energian säästöt voivat olla huomattavia ja niiden hyödyntäminen olisikin esim. tavanomaisen käyttövesivaraajan tehokkuuden kehittämistä kannattavampi toimenpide. Kotitalouskäyttöön tarkoitettujen laitteiden vähäinen tarjonta, kansallisen tutkimustiedon puute ja tekniikan hidas yleistyminen kuitenkin hidastavat edelleen käyttöveden LTO:n käyttöönottoa. Tekniikka on olemassa, mutta soveltuvuus paikallisiin olosuhteisiin tulisi selvittää.

Käyttöveden energian suhteellinen osuus rakennusten lämmitysenergian tarpeesta kasvaa väistämättä lähes nollaenergiataloja edellyttävän lainsäädännön myötä. Pelkästään tavanomaista varaajaa koskevilla ekosuunnitteluvaatimuksilla ja varaajan teknisellä kehityksellä ei saavuteta merkittävää parannusta, joten energiankulutuksen vähentämiseksi käyttöveden tuotannossa on hyödynnettävä vaihtoehtoisia ratkaisuja.

## LÄHDELUETTELO

Atikol U., Aldabbagh L. B. Y ja Sezai I. 2006. Effect on standing time after usage on the performance of storage-type domestic electrical water-heaters. Journal of the Energy Institute 2006 vol. 79.

Aurola Risto. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Bartram Jamie, Chartier Yves, Lee John V., Pond Kathy ja Surman-lee Susanne. 2007. Legionella and the Prevention of Legionellosis. Sveitsi: World Health Organization WHO.

Boait P.J., Dixon D., Fan D. ja Stafford A. 2012. Production efficiency of hot water for domestic use. UK: Energy and Buildings.

Boverket. 2011. Boverkets byggregler (föreskifter och allmänna råd) [verkkodokumentti]. [Viitattu 21.8.2013]. Saatavilla: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf>

Castell A., Medrano M., Solé C. ja Cabeza L.F. 2010. Dimensionless numbers used to characterize stratification in water tanks for discharging at low flow rates. Renewable energy 35 2192-2199.

CMHC. 2007. Drainwater Heat Recovery Performance Testing at CCHT [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.02.2013]. Canada Mortgage and Housing Corporation. Saatavissa: <http://www.cmhc.ca/odpub/pdf/65680.pdf>

Cruickshank Cynthia A. ja Harrison Stephen J. 2010. Heat loss characteristics for a typical solar domestic hot water storage. Energy and Buildings 42 (2010).

EIA. 2013. International Energy Outlook 2013 – A2: World total energy consumption by region.

Energiamarkkinavirasto. 2013. Sähkön hinnan kehitys [verkkodokumentti]. [Viitattu 07.02.2013]. Saatavissa: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3359&pgid=67&languageid=2>

Energiateollisuus. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Selvitys [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.01.2013]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/ljk-kytkennat\\_mitoituslampotilat\\_poyry\\_2011.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/ljk-kytkennat_mitoituslampotilat_poyry_2011.pdf)

European Commission. 2012. Explanatory Memorandum to the Working Document on a draft COMMISSION REGULATION implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign for water heaters and hot water storage tanks [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.04.2013]. Saatavissa: [http://www.eceee.org/\\_zmi/eceeeorg/Eco\\_design/products/water\\_heaters/WD\\_Explanatory%20Memorandum%20Ecodesign%20Water%20Heater-2-2-12.pdf](http://www.eceee.org/_zmi/eceeeorg/Eco_design/products/water_heaters/WD_Explanatory%20Memorandum%20Ecodesign%20Water%20Heater-2-2-12.pdf)

Fiskum Lars-Erik. 2002. Hydraulic characteristics on Multishower shower head type Singapore 6,0 and 6,5 [verkkodokumentti]. Oslo: Norwegian Building Research Institute. [Viitattu 30.04.2013]. Saatavissa: <http://www.nordiceco.com/images/stories/ecoshower-norwegian-building-institute-test-results.pdf>

Flyktman Martti ja Helynen Satu. 2004. Hyötysuhteiden määrittäminen päästökaupan alkujakoa varten [verkkodokumentti]. Tutkimusselostus. Jyväskylä: VTT. [Viitattu 23.05.2013]. Saatavissa: [http://ktm.elinar.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/all/E1F0FEB56DFDC0F7C225716B003B526C/\\$file/hyotysuhteiden\\_maarittaminen\\_04.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E1F0FEB56DFDC0F7C225716B003B526C/$file/hyotysuhteiden_maarittaminen_04.pdf)

George David A. 2012. All about Water Heating – Modern advancements in water heating systems. Tech Topic. Reeves Journal.

Grönroos-Saikkala Ismo. 2013. EU:n energiatehokkuuslainsäädäntö – Ecodesign- ja energiamerkintädirektiivit. Helsinki: Ekosuunnittelufoorumi 13.08.2013.

Gynther Lea. 2007. EuP –direktiivin (2005/32/EY) toimeenpanon energiavaikutusten arviointi [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva. [Viitattu 22.02.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/20621/EuP\\_direktiivin\\_energiavaikutukset\\_loppuraportti\\_070309.pdf](http://www.tem.fi/files/20621/EuP_direktiivin_energiavaikutukset_loppuraportti_070309.pdf)



Halme Minna, Nieminen Jyri, Nykänen Esa, Sarvaranta Leena ja Savonen Antti. 2005. Business from sustainability – Drivers for energy efficient housing. VTT Tiedotteita. Espoo: VTT.

Han Y.M., Wang R.Z. ja Dai Y.J. 2008. Thermal stratification within the water tank. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Harju Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky. ISBN 978-952-67003-4-2

Hiller Carl C. 2005. Comparing Water Heater vs. Hot Water Distribution System Energy Losses. ASHRAE Transactions 2005 vol. 111. s. 407-417.

IEA. 2011. World Energy Outlook 2011. France: OECD/IEA.

IPCC. 2007. Climate change 2007. Mitigation of climate change [verkkodokumentti]. [Viitattu 19.06.2013]. Saatavissa: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4\\_wg3\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf)

Kanerva Mari, Mentula Silja, Lyytikäinen Outi, Ruutu Petri, Kusnetsov Jaana ja Nuorti Pekka. 2003. Legionelloosin seuranta ja torjunta tehostuvat. Katsausartikkeli. Suomen lääkärilehti 48/2003 vsk 58.

Kaukora. 2013. Jäspi-Vedenlämmittimet [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.03.2013]. Saatavissa: [http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jaspi\\_Vedenlammitimet\\_0213\\_web.pdf](http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jaspi_Vedenlammitimet_0213_web.pdf)

Kaunisto Tuija. 2013. Juomavesijärjestelmien tuotteet ja testaukset sekä niiden standardisointitilanne. Tavoitteena Turvallinen Juomavesi –seminaari 14.02.2013, Helsinki.

Keinänen-Toivola Minna M., Ahonen Merja H. ja Kaunisto Tuija. 2007. Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984-2006. Vesi-instituutin julkaisuja 2. Vesi-instituutti/Prizztech.

Kekki Tomi, Keinänen-Toivola Minna M., Kaunisto Tuija ja Luntamo Marja. 2007. Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa. Vesi-instituutin julkaisuja 1. Vesi-instituutti/Prizztech.

Kemna René, van Elburg Martijn, Li William ja van Holsteijn Rob. 2007. Preparatory study on Eco-design of Water Heaters – Consumer behaviour & local infrastructure. European Commission.

Klobut Krysstof, Heikkinen Jorma, Shemeikka Jari, Laitinen Ari, Rämä Miika ja Sipilä Kari. 2009. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. Espoo: VTT. VTT tiedotteita.

Koskelainen Lasse, Saarela Rauli ja Sipilä Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry Kaukolämpö.

Kumpuvaara Outi. 2012. Ecodesign-direktiivin ja energiamerkintädirektiivin nojalla annettavat tuoteryhmäkohtaiset säädökset. E-jatkokirje, selvitys direktiiviin [verkkodokumentti]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 22.02.2013]. Saatavissa: <http://217.71.145.20/TRIPviewer/show.asp?tunniste=E+48/2010+1.+TEM+17.02.2012&base=euykirj&palvelin=www.eduskunta.fi&f=WORD>

Leino Raimo. 1999. Käyttövesivaraajien kestävyysvaikutteet. Raportti. Vantaa: Imatran Voima.

Martinkauppi Kirsi. 2010. ERA 17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika. Helsinki: Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes.

Mehling H., Cabeza L.F., Hippeli S. ja Hiebler S.. 2003. PCM-module to improve hot water heat stores with stratification. Renewable Energy 28 (2003).

Smith C., Coetzee PP. ja Meyer JP . 2003. The effectiveness of a magnetic physical water treatment device on scaling in domestic hot-water storage tanks. Water SA vol. 29. July 2003.

Motiva. 2012. Lämpöä ilmassa, opas ilmalämpöpumpuista [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.02.2013]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/6057/Lampoa\\_ilmassa.pdf](http://www.motiva.fi/files/6057/Lampoa_ilmassa.pdf)

Motiva. 2013. Laskukaavat: lämmin käyttövesi [verkkodokumentti]. [Viitattu 08.03.2013]. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energian kayton\\_tehostaminen/kiinteistojen\\_energianhallinta/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

Määttä Jukka. 1993. Käyttöveden lämmityksen suunnittelu ja mitoitus. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT.

Määttä Jukka ja Kaunisto Tuija. 1997. Pientalojen talousvesiverkoston vuotovahingot. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT.

Omer SA., Riffat SB. ja Qiu G.. 2007. Thermal insulation for hot water cylinders: a review and a conceptual evaluation. Building services engineering research & technology. Nottingham: School of the Built Environment, University of Nottingham.

Paiho Satu, Heimonen Ismo, Kouhia Ilppo, Nykänen Esa, Nykänen Veijo, Riihimäki Markku ja Vainio Terttu. 2009. Putkiremonttien uudet hankinta- ja palvelumallit [verkkodokumentti]. [Viitattu 18.02.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2483.pdf>

Perola Outi. 2006. Hospital Water Supply as a Source of Nosocomial Infections. Väitöskirja. Kuopio: Kuopion yliopisto.

Pitts Marilyn, Sweet Jack, Marshutz Scott, Weingarten Larry ja Weingarten Suzanne. 2003. The History of Domestic Water Heaters. Reeves Journal Jan 2003.

Rakennustieto. 2002. TalotekniikkaRYL 2002 – Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002, Osa 1. Rakennustietosäätiö RTS, LVI-Keskusliitto ry, Sähkötieto ry ja Rakennustieto Oy.

Rautiainen Kimmo. 2009. EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: kiertovesipumput, lämmityskattilat, vedenlämmittimet ja sähkömoottorit. Muistio [verkkodokumentti]. [Viitattu 22.02.2013]. Saatavilla: [http://www.motiva.fi/files/2646/EuP-direktiivin\\_vaiikutusten\\_arviointi\\_Kiertovesipumput\\_lammityskattilat\\_vedenlammittimet\\_ja\\_sahkomoottorit.pdf](http://www.motiva.fi/files/2646/EuP-direktiivin_vaiikutusten_arviointi_Kiertovesipumput_lammityskattilat_vedenlammittimet_ja_sahkomoottorit.pdf)

Salminen Anne. 2011. Jäteveden lämmön hyötykäyttö – uusiutuvan energian käyttöä vai energian säästöä? Vesitalous-lehti 4/2011. Tekesin VESI -ohjelma.

Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Solé C., Medrano M., Castell A., Nogués M., Mehling H. ja Cabeza L. F. 2007. Energetic and exergetic analysis of a domestic water tank with phase change material. International journal of energy research 32/2008.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. 2013. Provning av varmvattenberedare [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.04.2013]. Saatavissa: <http://www.sp.se/sv/index/services/heatpump/varmvattenberedare>

Spur Roman, Fiala Dusan, Nevrala Dusan ja Probert Doug. 2006. Performances of modern domestic hot-water stores. Applied Energy 83 (2006) 893-910.

Tekes. 2013. Lämpöenergiaa jätevedestä – katsaus nykytilanteeseen ja mahdollisuuksiin [verkkodokumentti]. [Viitattu 18.02.2013]. Saatavilla: [http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS\\_0\\_201\\_403\\_994\\_2095\\_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/vesi/documents/130210\\_katsaus\\_1ampoenergiaa\\_jatevedesta.pdf](http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_403_994_2095_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/vesi/documents/130210_katsaus_1ampoenergiaa_jatevedesta.pdf)

Teknologiateollisuus ry. 2012. Teknologia ilmastonmuutoksen torjunnassa [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.01.2013]. Saatavissa: [http://www.teknologiateollisuus.fi/file/13066/TIMT\\_final.pdf.html](http://www.teknologiateollisuus.fi/file/13066/TIMT_final.pdf.html)

Tilastokeskus. 2012a. Asumisen energiankulutus [verkkodokumentti]. [Viitattu 19.02.2013]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/asen/>

Tilastokeskus. 2012b. Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.07.2013]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/salatuo/>

Tilastokeskus. 2012c. Rakennukset lämmitysaineen mukaan [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.8.2013]. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/til/rakke/tau.html>

Tilastokeskus. 2013. Energian hankinta ja kulutus [verkkodokumentti]. Viitattu 30.8.2013. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehk/index.html>

Tukes. 2013. CE-merkki – sähkötuoteopas [verkkodokumentti]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. [Viitattu 12.05.2013]. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/sahkotuoteopas/CE\\_merkki.htm](http://www.tukes.fi/sahkotuoteopas/CE_merkki.htm)

Vesi-Instituutti Wander. 2013. Tuotehyväksyntä ja standardisointi [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.02.2013]. Saatavissa: <http://www.prizz.fi/sivu.aspx?taso=3&id=633>

VTT Expert Services. 2010. Testausseloste. Salainen.

Ympäristöhallinto. 2003. Veden ominaiskulutus 1970-2001 [verkkodokumentti]. [Viitattu 02.07.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4822&lan=fi>

Ympäristöministeriö. 2009. Työryhmämuistio – Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen [verkkodokumentti]. Helsinki. Viitattu 09.01.2013. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio\\_Huoneistokohtaisten\\_vesimittareiden\\_kaytto\\_ja\\_vaikutukset\\_rakennusten\\_energiankulutukseen.pdf](http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf)

Ympäristöministeriö. 2011a. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi-opas. Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö ja Sitra. [Viitattu 23.01.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135656>

Ympäristöministeriö. 2011b. Rakennusalan standardisointiselvitys [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.02.2013]. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/308/RakennusalanStandardiNETTI.pdf>

Ympäristöministeriö. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta 176/2013 – Liite 1.

Zacheus Outi, Kuittinen Marji ja Martikainen Petri. 1993. Suomalaisten kiinteistöjen lämpimän käyttöveden mikrobiologinen ja kemiallinen laatu. Loppuraportti. Kuopio: Kansanterveyslaitos, Ympäristömikrobiologian osasto.

**Lait, asetukset ja direktiivit:**

EcoDesign-direktiivi. 2009/125/EY.

Ekosuunnitteluasetus. Komission asetus (EU) N:o 814/2013 direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta vedenlämmittimien ja kuumavesisäiliöiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.

Ekosuunnittelulaki. 1005/2008. Laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista.

Energiamerkintäasetus. Komission delegoitu asetus (EU) N:o 812/2013 direktiivin 2010/30/EY täydentämisestä vedenlämmittimien, kuumavesisäiliöiden ja vedenlämmittimestä ja aurinkolämpölaitteesta koostuvien kokoonpanojen energiamerkinnän osalta.

Energiamerkintädirektiivi. 2010/30/EY.

Energiatehokkuusdirektiivi (EED). 2012/27/EU

Painelaitelaki. 938/1999. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista.

Pienjännitedirektiivi (LVD). 2006/95/EY. Kodin sähkölaitteiden turvallisuudelle.

EMC-direktiivi. 2007/108/EY. Sähkömagneettinen yhteensopivuus.

Neuvoston direktiivi uusien nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita käyttävien kuumavesikattiloiden hyötysuhdevaatimuksista 92/42/EEC

RakMK D1. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK D3. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK D5. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU

RES-direktiivi. 2009/28/EC. Direktiivi uusiutuvista energianlähteistä peräisin olevan energian käytön edistämistä.

Sähköturvallisuuslaki. 410/1996.

Talousvesiasetus. 461/2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista.

Ekosuunnitteluasetuksen (EU 814/2013) mukainen kuormitusprofiili XL  
vedenlämmittimen energiatehokkuuden mittaamiseksi

h	$Q_{\text{tap}}$ [kWh]	$q_v$ [l/s]
7:00	0,105	3
7:15	1,82	6
7:26	0,105	3
7:45	4,42	10
8:01	0,105	3
8:15	0,105	3
8:30	0,105	3
8:45	0,105	3
9:00	0,105	3
9:30	0,105	3
10:00	0,105	3
10:30	0,105	3
11:00	0,105	3
11:30	0,105	3
11:45	0,105	3
12:45	0,735	4
14:30	0,105	3
15:00	0,105	3
15:30	0,105	3
16:00	0,105	3
16:30	0,105	3
17:00	0,105	3
18:00	0,105	3
18:15	0,105	3
18:30	0,105	3
19:00	0,105	3
20:30	0,735	4
20:46	4,42	10
21:15	0,105	3
21:30	4,42	10
$Q_{\text{ref}}$	19,07	