

Aurinko-opas 2012

Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton
laskennan opas

23.8.2011

Esipuhe

Tämä opas käsittelee vuonna 2012 uusiutuvan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien laskentaa. Aurinkolämmön osalta esitetään laskentatapa, jolla voidaan osoittaa aurinkolämpökeräimien avulla saatava käyttöveden lämmityksessä hyödynnettävä energiamäärä. Aurinkosähkön osalta esitetään aurinkosähkökennoilla auringonsäteilystä saatava sähköenergian määrä, joka on hyödynnettävissä rakennuksen sähköjärjestelmässä (lopullinen hyödynnettävyys riippuu myös siirto- ja jakelujärjestelmän toimivuudesta) . Oppaassa käsitellään laskennan periaatteet sekä esitetään esimerkkilaskelmat.

Oppaan suositukset, sovellusesimerkit ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.

Oppaan on laatinut Sitran ja ympäristöministeriön toimeksiannosta VTT:n erikoistutkija Ismo Heimonen.

Työtä on Sitran puolesta valvonut dosentti Jarek Kurnitski ja ympäristöministeriön puolesta ylinäinööri Pekka Kalliomäki.

Sisältö

Esipuhe	2
1 Johdanto	4
2 Määritelmiä ja käsitteitä	5
Aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmät	7
2.1 Yleistä	7
3 Aurinkolämmön tuoton laskenta	7
3.1 Menetelmän käyttötarkoitus.....	7
3.2 Aurinkolämmöllä tuotettavan lämmön tarve	8
3.3 Yksinkertaistettu menetelmä D5 menettelytavan mukaan.....	9
3.4 Oppaan laskentamenetelmän yleiskuvaus.....	10
3.4.1 Aurinkolämmön tuotto.....	11
3.4.2 Aurinkoenergiajärjestelmän apulaitteiden energiankulutus.....	14
3.4.3 Aurinkoenergiajärjestelmän häviöt	14
3.4.4 Auringon säteily keräimen ulkopinnalle	14
3.5 Esimerkki aurinkolämmön tuoton laskennasta	17
4 Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton laskenta	20
4.1 Menetelmän käyttötarkoitus.....	20
4.2 Laskentamenetelmän kuvaus	20
4.3 Kuukausitason aurinkosähkön tuoton laskenta	22
4.4 Esimerkki aurinkosähkön tuoton laskennasta	22
5 Yhteenveto	24
Lähdeluettelo	25
LIITE 1 Esimerkkilaskelma aurinkolämmön hyödyntämisestä lämpimän käyttöveden tuotossa	27
LIITE 2 Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskennasta	32
LIITE 3 Aurinkolämpöjärjestelmän putkiston lämpöhäviöiden laskenta	34

1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Rakennusten energian käyttö aiheuttaa noin 30 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Energian käytöstä rakennusten osuus oli lähes 40 % vuonna 2003. Vuonna 2003 tehdyn rakentamismääräysten muutoksen avulla rakennusten lämmitysenergiankulutuksesta pyrittiin säästämään 25 - 30 % aiempaan määräystasoon verrattuna. Ympäristöministeriö antoi kesällä 2007 uudet rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviöitä koskevat vaatimukset (RakMk 2007). Tällöin vaatimuksia ei parannettu oleellisesti. Joulukuussa 2008 annetuissa määräyksissä (RakMk 2010) energiatehokkuusvaatimukset kiristyivät noin 25 – 30 %. Vuonna 2011 annetuissa uusissa määräyksissä energiatehokkuusvaatimuksia kiristetään edelleen noin 20 % ja samalla määräysten rakenne ja sisältö uudistettiin perusteellisesti.

Rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviötä käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa

- C4 Lämmöneristys, Ohjeet 2012
- D3 Rakennuksen energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012

C3 Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset, kumotaan ja energiatehokkuutta koskevat osat siirretään osaan D3 ja D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012, energiatehokkuusvaatimukset siirretään osaan D3.

Rakentamismääräysten uudistaminen on osa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa Suomessa. Uudistetut määräykset mahdollistavat aiempaa suuremman joustavuuden suunnittelutyössä ja toisaalta antavat vapauden käyttää eri laskentamenetelmiä energiatehokkuuden laskennassa.

Tämä opas käsittelee rakentamismääräyskokoelman osan D5 aurinkolämmityksen hyödyntämistä käyttöveden lämmitykseen ja aurinkosähköjärjestelmien sähköntuottoa. Lisäksi se pyrkii selventämään määräyksiin liittyviä tulkintoja. Luvuissa 3.5 ja 4.4 esitetään aurinkojärjestelmien laskentaesimerkit.

2 Määritelmiä ja käsitteitä

Aurinkolämpöjärjestelmällä tarkoitetaan tässä oppaassa järjestelmää, joka koostuu aurinkolämpökeräimistä, lämpövaraajasta sekä näihin liittyvästä energian siirtojärjestelmästä (nestekierto-putket, venttiilit, pumput, säätölaitteet yms.).

Aurinkosähköjärjestelmällä tarkoitetaan tässä oppaassa rakennukseen tai sen välittömään läheisyyteen sijoitettuja aurinkosähköä tuottavia kenoja ja niiden tuottaman sähkön siirto- ja varastointijärjestelmää rakennuksen sisällä.

Käytetyt muuttujat:

$Q_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveten keräinpinta-ala kohti kWh/m ² ,a
A	pinta-ala, m ²
$A_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräinten kokonaispinta-ala, m ²
k	keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin
$W_{\text{aurinko,pumput}}$	keräinpiirin pumppujen sähköenergiankulutus
$P_{\text{pumppu,i}}$	yksittäisen pumpun i teho, W
$t_{\text{pumppu,i}}$	pumpun i käyttöaika, h
$Q_{\text{tuotto, A}}$	aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)
$Q_{\text{tarve, A}}$	lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (kWh)
c_{tyyppi}	Varaajatyyppin korjauskerroin.
a, b, c, d, e, f	kertoimia.
X	häviöt/tarve –suhde
Y	tuotto/tarve –suhde.
IAM	keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin (incidence angle modifier)
U_C	keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m ² K)
a_1 :	lämpöhäviökerroin
a_2 :	häviökerroin
U_L	keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (W/K)
η_{kierto}	keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt.
$\Delta\eta$	hyötysuhteen muutos
U_{st}	lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin (W/K)
η_0	optinen hyötysuhde
ΔT	keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero (K)
t_h	tarkastelujakson pituus (kuukausi), (h)
c_{cap}	varastokapasiteetin korjauskerroin (-)
$Q_{\text{tarve,A}}$	lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään, (Wh)
$Q_{\text{keräin}}$	auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, (Wh/m ² .kk)
ΔT	referenssilämpötilaero
θ_e	tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, (°C)

θ_{ref}	sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila, (°C)
θ_{hw}	lämpimän käyttöveden minimilämpötila
θ_{cw}	kylmän veden lämpötila
θ_e	tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila
c_{cap}	varaajakapasiteetin korjauskerroin, (-)
V_{tod}	varaajan suunniteltu ominaistilavuus, (dm ³ /keräin·m ²)
V_{ref}	referenssitilavuus
V_{nim}	varaajan nimellistilavuus
V_{LL}	varaajan lisälämmitysosan tilavuus
f_{apu}	osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä
x	lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin
$Q_{\text{keräin}}$	keräimelle tuleva auringon säteilyenergia tarkastelujaksolla, (kWh/m ² ·kk)
$Q_{\text{sät},0^\circ}$	vaakatasolle tuleva auringon säteilyenergia, (kWh/m ² ·kk)
k	korjauskerroin
E_{sol}	vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [kWh/m ² ,a]
P_{max}	aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa (kW)
$F_{\text{käyttö}}$	käyttötilanteen toimivuuskerroin (-)
I_{ref}	referenssisäteilytilanne (kW/m ²)
$E_{\text{sol,hor}}$	rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa (kWh/m ² ,a)
F_{asento}	aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin (-).
K_{max}	huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (kW/m ²).
F_1	ilmansuunnan mukainen kerroin
F_2	kallistuksen mukainen kerroin

Aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmät

2.1 Yleistä

Aurinkolämpökeräimiä voidaan käyttää joko pelkästään lämpimän käyttöveden tuottamiseen tai sekä käyttöveden että tilojen lämmittämiseen.

Aurinkokeräinjärjestelmien lämpöenergiaantuotto sekä järjestelmän kuluttama energia (lämpöhäviöt ja järjestelmän itse käyttämä sähköenergia) voidaan laskea tässä oppaassa esitetyllä laskentamenetelmällä. Laskentamenetelmä perustuu EN standardiin SFS EN 15316-4-3:2007 ”Rakennusten lämmitysjärjestelmät. järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. osa 4-3: Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkolämpölaitteistot”. Standardissa esitetty menetelmä perustuu f-chart menetelmään /1, 2/.

Laskentaa varten tulee tietää aurinkokeräimen ominaisuudet (hyötysuhde), jotka on mitattu standardin EN 12975-2 mukaisesti, sekä keräimien pinta-ala. Lisäksi tarvitaan tapauskohtaiset auringon säteilyenergiatiedot ja lämpöenergiantarve (lämmin käyttövesi LKV). Taulukoissa on esitetty muutaman paikkakunnan (Helsinki, Jyväskylä ja Sodankylä) kuukausittaiset auringon säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle ja kallistetun keräimen säteilyenergian korjauskertoimet, joiden avulla keräimeen kohdistuvat kuukausittaiset säteilyenergiat voidaan laskea kyseisille paikkakunnille. Aurinkolämpöjärjestelmään kohdistuva lämpöenergiantarve voidaan laskea D5 menetelmällä. Opas käsittelee aurinkolämmön hyödyntämistä ainoastaan käyttöveden lämmityksessä. Periaatteessa standardin SFS EN 15316-4-3 mukainen menetelmä soveltuu myös laskentaan, jossa määritetään aurinkolämpöjärjestelmällä tilojen lämmityksessä hyödynnettävä energian osuutta.

Aurinkosähköjärjestelmillä tuotetaan sähköä käytettäväksi rakennuksessa joko suoraan tai sähköä varaavan akkujärjestelmän kautta tai sähköenergia syötetään takaisin verkkoon. Sähkön syöttäminen pienkuluttajan aurinkosähkölaitteistosta paikalliseen sähköverkkoon ei toistaiseksi ole ollut mahdollista tai se on vaatinut paikallisen energiatoimittajan tekemän järjestelyn. Mikäli sähköä halutaan syöttää verkkoon, suunnittelijan on selvitettävä verkonhaltijalta mahdollisuudet tähän. Lisäksi on selvitettävä hallinnolliset, lainsäädännölliset ja verotustekniset seikat. Sähköjärjestelmässä voi olla invertteri aurinkosähkökennoista saatavan sähkön jännitteen muuttamiseksi. Oppaan laskentamenetelmä määrittelee menetelmän, jolla saatavan aurinkokennojen sähkön energiamäärä lasketaan. Jotta saatava sähköenergia pystytään hyödyntämään, on energiamäärä ladattava akustoon, käytettävä rakennuksessa tai syötettävä verkkoon. Mikäli laskennallista tuotettua sähköenergian määrää ei pystytä hyödyntämään rakennuksessa, ylittävä osuus on jätettävä huomioimatta tai on osoitettava tapa, jolla hyödyntäminen tehdään.

Aurinkokennojen mahdollisen tarvitseman käyttöenergian kulutusta ei lasketa erikseen, ja aurinkokennojen tuottamassa energiassa on mukana ainoastaan nettoenergia.

3 Aurinkolämmön tuoton laskenta

3.1 Menetelmän käyttötarkoitus

Menetelmän avulla voidaan laskea aurinkolämpöjärjestelmästä lämpimän käyttöveden tuotantoon saatava tuotto sekä järjestelmän kuluttama energia. Laskenta perustuu tuotteiden toimivuusominaisuuksiin, jotka määritellään tuotestandardeissa sekä muihin ominaisuuksiin, joiden perusteella voidaan arvioida järjestelmään kuuluvien tuotteiden toimivuutta.

Laskentamenetelmä käsittää lämpimän veden tuotantoon käytettävät aurinkolämpöjärjestelmät säätöjärjestelmineen.

Aurinkolämpöjärjestelmässä käytettävien keräinten ja lämpövarastojen toimivuustiedot voidaan määrittää

- aurinkokeräimille standardin SFS EN 12975 mukaan.
- lämpövarastoille/-varaajille standardin CEN/TS 12977 mukaan.

Oppaan menetelmällä lasketaan:

- aurinkolämpöjärjestelmällä tuotettu uusiutuva omavaraissenergia (lämmön tuotto) joka hyödynnetään osana lämpimän käyttöveden valmistusta.
- Järjestelmän käyttämän sähkön kulutus

Laskentatulokset esitetään kuukausittaisen energiantuoton ja järjestelmän käyttämän energian muodossa.

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään

- Järjestelmän sijaintitiedot.
- LKV-järjestelmän lämpöenergian tarve eriteltynä kuukausitasolla.
- Aurinkokeräimen pinta-ala (m²) ja varjostustekijät.
- Käytettävän aurinkokeräimen toimivuusominaisuudet (hyötysuhde) annetaan standardin SFS EN 12975-2 mukaan tai menetelmän taulukoituina oletusarvoina.
- Keräinpiirin häviöt.
- Varaajan tilavuus, jälkilämmitysosuus ja häviöt.
- Säätöjärjestelmän ominaisuudet.

3.2 Aurinkolämmöllä tuotettavan lämmön tarve

Aurinkolämmitysjärjestelmän toimivuus riippuu järjestelmään kohdistuvasta lämmöntarpeesta. Lämmöntarve kuvaa, kuinka paljon energiaa tarvitaan käyttöveden lämmittämiseen. Aurinkolämpöjärjestelmän lämmöntuotolla katetaan osaksi tätä lämmöntarvetta ja loppu katetaan muulla käyttöveden lämmittämiseen suunnitellulla energiajärjestelmällä. Lämmöntarve esitetään käyttövedelle kuukausitasolla taulukoituina.

Käyttöveden lämmön tarve lasketaan esimerkiksi osan D5 luvun 6.3 *Lämpimän käyttöveden lämmitys* esittämällä tavalla.

3.3 Yksinkertaistettu menetelmä D5 menettelytavan mukaan

Käyttöveden lämmitys aurinkoenergialla lasketaan RakMK osan D5 taulukon 6.8 lukuarvoilla kertomalla taulukon arvo keräinten pinta-alalla ja huomioimalla suuntauksen mukainen korjauskerroin, kaava (1) . Tällä menetelmällä laskettaessa aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta saa laskelmassa kuitenkin olla korkeintaan 40 %. Tarkemmalla menetelmällä (mm. tässä oppaassa luvussa 3.4 esitetty) laskettaessa aurinkolämmön osuus voi olla suurempi.

$$Q_{\text{aurinko}} = k \cdot q_{\text{aurinkokeräin}} A_{\text{aurinkokeräin}} \quad (1)$$

$q_{\text{aurinkokeräin}}$ aurinkokeräimen energiantuotto käyttövedeen keräinpinta-alaa kohti (taulukko 1), kWh/m²,a

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ aurinkokeräinten kokonaispinta-ala, m²

k keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin (taulukko 2)

Taulukko 1. Keräinten tuottama aurinkolämpö keräinten pinta-alaa kohti, joka hyödynnetään käyttöveden lämmityksessä .

Vyöhyke/paikkakunta	$q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/m ² ,a
I / Helsinki	156
II / Jyväskylä	139
III/Sodankylä	125

Taulukon lukuarvot pätevät keräimille, joiden kallistuskulma on 30-70 astetta vaakatasosta. Muille kallistuskulmille taulukkoarvo kerrotaan lukuarvolla 0,8.

Taulukko 2. Keräinten suuntauksen huomioon ottavan kertoimen k lukuarvot.

Suuntaus	k
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Mikäli suunnitteluratkaisu eroaa merkittävästi alla esitetystä, on käytettävä muuta hyväksyttävään menetelmää, kuten esimerkiksi tämän oppaan **luvun 3.4** esittämällä menettelyllä.

Taulukon 1 lukuarvot perustuvat tyypillisen ratkaisun lähtötietoihin:

- Käyttöveden kulutus 200 litraa/vrk (+50 °C; siirron/jakelun lämpöhäviöt 30 %) (50 litraa/hlö/vrk)
- keräinpinta-ala 10 m² (2,5 m²/henkilö; 1 m²/20 litraa LKV kulutus)
- keräimen hyötysuhde (η_0) kohtisuoralle säteilylle ilman lämpötilaeron vaikutusta 60 %
- Varaajan koko 500 litraa (50 litraa/1 m² keräinpintaa kohti; 2,5 x vuorokauden vedenkulutus) (laskenta on tehty mitoituksella, jossa maksimi kuukausituotto 85 % lämmöntarpeesta aurinkoenergialla, vuositasolla 28 % lämpimän käyttöveden lämmöntarpeesta tuotetaan aurinkoenergialla)
- varaajan ja keräimen kiertopiirin häviöt on laskettu käyttäen huonon eristystason arvoja

Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus lasketaan

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = \sum (P_{\text{pumppu},i} t_{\text{pumppu},i}) \quad (2)$$

$P_{\text{pumppu},i}$ on yksittäisen pumpun i teho, kW
 $t_{\text{pumppu},i}$ pumpun i käyttöaika, h

Mikäli suunnitteluarvoista ei ole yksityiskohtaista tietoa, voidaan pumpun tehon suunnitteluarvona käyttää kaavasta (3) laskettavaa tehoa

$$P_{\text{pumppu},i} = (50 + 5 * A_{\text{aurinkokeräin}}) / 1000 \quad (3)$$

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ on kiertopiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala, m²

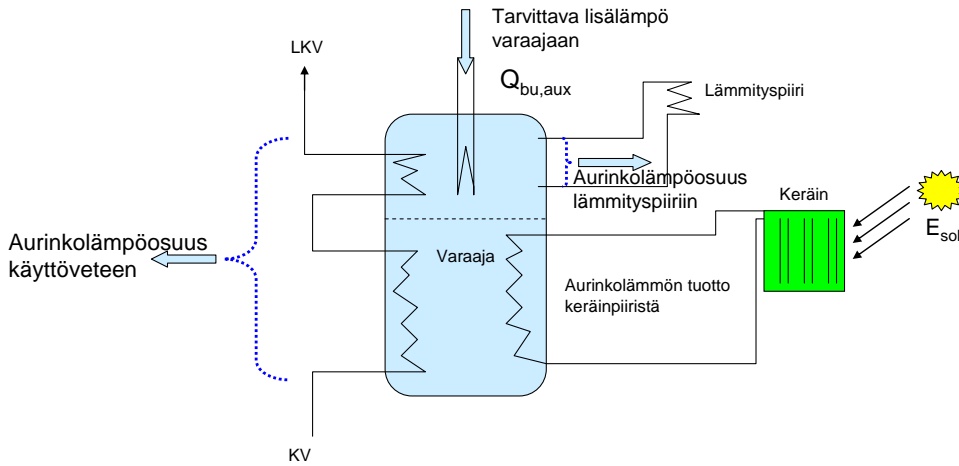
Oletusarvoisesti voidaan pumpun käyttöaikana käyttää arvoa 2000 h/a, jos tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Käyttöaika oletetaan jakautuvan ajallisesti kuukausittaisten säteilyenergioiden suhteessa.

3.4 Oppaan laskentamenetelmän yleiskuvaus

Menetelmässä kuvataan tapa aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton ja kulutuksen sekä talteenotettavissa olevien häviöiden laskentaan. Menetelmässä käytetään komponenttitestien tietoja tai taulukkoarvoja. Menetelmä sisältää seuraavia vaiheita:

- aurinko-osuuden laskenta lämpimän käyttöveden tuotannolle
- aurinkoenergiajärjestelmän siirtohäviöiden laskenta (varaston ja lisälämmittimen välillä)
- lämpövaraston/varaajan häviöiden laskenta
- aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutuksen laskenta

Kuva 1 esittää aurinkolämpöjärjestelmän periaatteen.



Kuva 1. Aurinkolämpöjärjestelmän periaate.

3.4.1 Aurinkolämmön tuotto

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla (3):

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (3)$$

$Q_{tuotto,A}$ on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)
 $Q_{tarve,A}$ lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (tilojen lämmitys ja käyttövesi tai pelkästään käyttöveden lämmitys) (kWh)
 c_{tyyppi} varaajatyypin korjauskertoimen. Varaajatyypin korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $c_{tyyppi} = 1$.

a, b, c, d, e, f myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

X, Y X on häviöt/tarve –suhde ja Y on tuotto/tarve –suhde.

Dimensiottomat suuret X ja Y lasketaan kaavoista (4) ja (5).

$$X = \frac{A \cdot U_c \eta_{kierto} \Delta T \cdot t_h c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (4)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_o \eta_{kierto} Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (5)$$

A	keräinten pinta-ala (m ²)
IAM	keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin (incidence angle modifier), jolle oletusarvoina käytetään IAM = 1,0 kattamattomalle (lasiton) keräimelle, IAM = 0,94 lasikatteisille tasokeräimille ja IAM = 0,97 tyhjöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta IAM = 1,0 tyhjöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta
U _C	keräinpiirin lämpöhäviökerroin; (W/m ² K) U _C = a ₁ + 40 a ₁ + U _L /A a ₁ : keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan Mikäli kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään : - tyhjöputkikeräimille a ₁ =3 W/m ² K, - tasokeräimille a ₁ =6 W/m ² K, - lasiottamattomille keräimille a ₁ =20 W/m ² K ja a ₂ : keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan. Mikäli kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään : - kaikille keräintyypeille a ₂ =0 W/m ² K ² . U _L : keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]; jos keräinpiirin putki- ja eristystiedot on saatavilla, niin lämpöhäviökerroin voidaan laskea liitteen 3 mukaisesti. Jos keräinpiiristä ei ole tietoja saatavilla, U _L arvioidaan kaavasta; U _L = 5 + 0,5 A [W/K]
η _{kierto}	keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvoina käytetään η _{kierto} = 0,8. Arvo voidaan laskea, mikäli tuotetietoa on saatavilla: η _{kierto} = 1 - Δη, missä Δη = η _o * A * a ₁ / U _{st} , missä U _{st} lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin W/K (CEN/TS 12977-2 mukaisesti määritettynä)
η _o	käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN 12975-2 avulla saatu optinen hyötysuhde (hyötysuhdekäyrän leikkauspiste y-akselin kanssa, kun lämpötilaero on nolla)
ΔT	keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero, lasketaan kaavasta (6), (K)
t _h	tarkastelujakson pituus (kuukausi), (h)
c _{cap}	varastokapasiteetin korjauskerroin, lasketaan kaavasta (7), (-)

$Q_{tarve,A}$ on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (pelkästään käyttöveden lämmitys), (Wh)

$Q_{keräin}$ on auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, (Wh/m²,kk)

Referenssilämpötilaero (ΔT) lasketaan

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (6)$$

missä θ_e on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, (°C)

θ_{ref} on sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila, (°C)

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 \theta_{hw} + 3,86 \theta_{cw} - 1,32 \theta_e$$

, kun lasketaan pelkästään käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta, missä

θ_{hw} on lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään $\theta_{hw} = 40$ °C,

θ_{cw} on kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa $\theta_{cw} = 5$ °C, mikäli kuukausittaista arvoa ei ole käytettävissä

θ_e on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila (D3 taulukkoarvo)

Kun vesivaraajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta (75 dm³/keräin-m²), niin määritettäessä aurinkojärjestelmän tuottoa on dimensiotonta muuttujaa X korjattava kertoimella c_{cap} , joka ottaa huomioon poikkeavan varaajakapasiteetin. Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavasta (7).

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (7)$$

missä c_{cap} on varaajakapasiteetin korjauskerroin, (-)

V_{tod} on varaajan suunniteltu ominaistilavuus, (dm³/keräin-m²)

V_{ref} on referenssitilavuus = 75 dm³/keräin-m²

Mikäli aurinkolämmön varaajassa on lisälämmitys, korjataan tilavuutta kaavassa (7) kertoimella (1- f_{apu}) eli

$$V_{tod} = V_{nim} (1 - f_{apu})$$

$$f_{apu} = x \cdot V_{LL} / V_{nim}$$

missä

V_{nim} on varaajan nimellistilavuus

V_{LL} varaajan lisälämmitysosien tilavuus

f_{apu} osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä

x lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin

(jatkuvakäyttöinen x=1, yökäyttö x=0.7, lämmityksen käyttö hätätapauksessa x=0.3)

f_{apu} voidaan laskea yllä olevilla kaavoilla tai testata SFS EN 12976-2 mukaisesti. Mikäli lisälämmitystä varaajassa ei käytetä $f_{apu}=0$.

Jos varaajan kerrointa ei tunneta eikä lasketa edellä esitetyllä tavalla, käytetään oletusarvona pystymallin varaajalle $f_{apu}=0.5$ ja vaakasuoralle mallille $f_{apu}=0.33$.

3.4.2 Aurinkoenergiajärjestelmän apulaitteiden energiankulutus

Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla (8)

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = \sum(P_{\text{pumppu},i} \cdot t_{\text{pumppu},i})/1000 \quad (8)$$

missä

$P_{\text{pumppu},i}$ on yksittäisen pumpun i teho, kW
 $t_{\text{pumppu},i}$ pumpun i käyttöaika, h

Mikäli suunnitteluarvoista ei ole yksityiskohtaista tietoa, voidaan pumpun tehon suunnitteluarvona käyttää kaavasta (9) laskettavaa tehoa

$$P = (50 + 5 \cdot A_{\text{aurinkokeräin}}) / 1000 \quad (9)$$

missä

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ on kiertopiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala, m^2

Oletusarvoisesti voidaan pumpun käyttöaikana käyttää arvoa 2000 h/a, jos tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Käyttöaika oletetaan jakautuvan ajallisesti kuukausittaisten säteilyenergioiden suhteessa.

Pumppujen sähköenergiasta mahdollisesti talteen otettavaa energiaa ei huomioida rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa.

3.4.3 Aurinkoenergiajärjestelmän häviöt

Koska aurinkoenergiaa hyödynnetään vain käyttöveden lämmitykseen, järjestelmän häviöistä talteenotettava osuus, mitä voitaisiin hyödyntää tilojen lämmityksessä, ei oteta huomioon laskennassa.

3.4.4 Auringon säteily keräimen ulkopinnalle

Tasolle tuleva säteilyteho tietyllä paikkakunnalla voidaan laskea, kun tunnetaan paikkakunnan suora- ja hajasäteily vaakatasolle sekä ympäristön heijastus- ja varjostusominaisuudet. Tarvittava muunnos

vaakatasolta kallistetulle tasolle tapahtuu geometrisin perustein. Seuraavassa esitetään esilaskettuja säteilyenergian korjauskertoimia eri paikkakunnille, joilla kuukausitason säteilyenergiat vaakatasolle pinnalle voidaan muuttaa eri kallistuskulmiin asennettujen keräimien säteilyenergioiksi tietyin oletuksin: keräimen suuntaus välillä kaakko - lounas ja ympäristön varjostus on pieni.

Säteilyenergiat kallistetulle pinnalle lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{keräin}} = k \cdot Q_{\text{sät},0^\circ} \quad (10)$$

missä

- $Q_{\text{keräin}}$ on keräimelle osuvan auringonsäteilyn energia tarkastelujaksolla, (kWh/m²·kk)
 $Q_{\text{sät},0^\circ}$ vaakatasolle tuleva auringon säteilyenergia, joka on paikkakuntakohtainen, arvoja eri paikkakunnille on esitetty taulukossa 3 (kWh/m²·kk)
 k korjauskerroin etelään (kaakko - lounas) suunnatulle keräimelle, joka riippuu keräimen kallistuskulmasta, paikkakunnasta ja tarkastelujaksosta (taulukot 4-6)

Mikäli ympäristö, rakennus tai keräimen asennustapa aiheuttavat merkittäviä varjostuksia aurinkokeräimille ne huomioidaan korjaamalla kerrointa k varjostuksen suhteellisella määrällä koko keräimen pinta-alasta ($1 - A_{\text{varjostus}}/A_{\text{kokonaisala}}$).

Taulukko 3 Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle eri paikkakunnilla.

Kuukausi	Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle (kallistuskulma 0°) paikkakunnittain, (kWh/m ² ,kk)		
	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
Tammikuu	6	5	1
Helmikuu	22	20	14
Maaliskuu	64	52	48
Huhtikuu	120	103	121
Toukokuu	166	171	128
Kesäkuu	169	159	154
Heinäkuu	181	158	146
Elokuu	127	114	95
Syyskuu	82	71	64
Lokakuu	26	25	17
Marraskuu	8	7	3
Joulukuu	4	3	0
Vuosi	975	890	791

Taulukko 4. Kallistetun keräimen säteilytehon korjauskertoimet Helsingin olosuhteissa. Oletuksena on, että ympäristön (puut, rakennukset, ym.) varjostuskulma on 0°.

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Helsinki				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,88	1,88
Helmikuu	1,00	1,57	1,78	1,87	1,83
Maaliskuu	1,00	1,43	1,57	1,62	1,51
Huhtikuu	1,00	1,20	1,24	1,22	1,05
Toukokuu	1,00	1,08	1,06	0,99	0,75
Kesäkuu	1,00	1,03	0,98	0,89	0,60
Heinäkuu	1,00	1,06	1,02	0,92	0,64
Elokuu	1,00	1,14	1,13	1,07	0,80
Syyskuu	1,00	1,29	1,33	1,32	1,10
Lokakuu	1,00	1,42	1,55	1,58	1,42
Marraskuu	1,00	1,33	1,56	1,56	1,44
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vuosi	1,00	1,17	1,20	1,17	1,00

Taulukko 5. Kallistetun keräimen säteilytehon korjauskertoimet Jyväskylän olosuhteissa. Oletuksena on, että ympäristön (puut, rakennukset, ym.) varjostuskulma on 0°.

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Jyväskylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Vuosi	1,00	1,21	1,26	1,27	1,13

Taulukko 6. Kallistetun keräimen säteilytehon korjauskertoimet Sodankylän olosuhteissa. Oletuksena on, että ympäristön (puut, rakennukset, ym.) varjostuskulma on 0°.

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Sodankylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Helmikuu	1,00	1,92	2,25	2,50	2,50
Maaliskuu	1,00	1,73	1,98	2,12	2,07
Huhtikuu	1,00	1,33	1,41	1,43	1,27
Toukokuu	1,00	1,12	1,11	1,06	0,83
Kesäkuu	1,00	1,04	0,99	0,92	0,66
Heinäkuu	1,00	1,06	1,03	0,96	0,71
Elokuu	1,00	1,14	1,14	1,09	0,86
Syyskuu	1,00	1,31	1,37	1,39	1,20
Lokakuu	1,00	1,59	1,76	1,82	1,71
Marraskuu	1,00	1,50	1,50	1,00	1,00
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vuosi	1,00	1,24	1,30	1,31	1,18

3.5 Esimerkki aurinkolämmön tuoton laskennasta

Esimerkkitapauksessa käyttövedtä lämmitetään aurinkokeräinjärjestelmällä. Seuraavat suunnittelun lähtötiedot ovat käytettävissä.

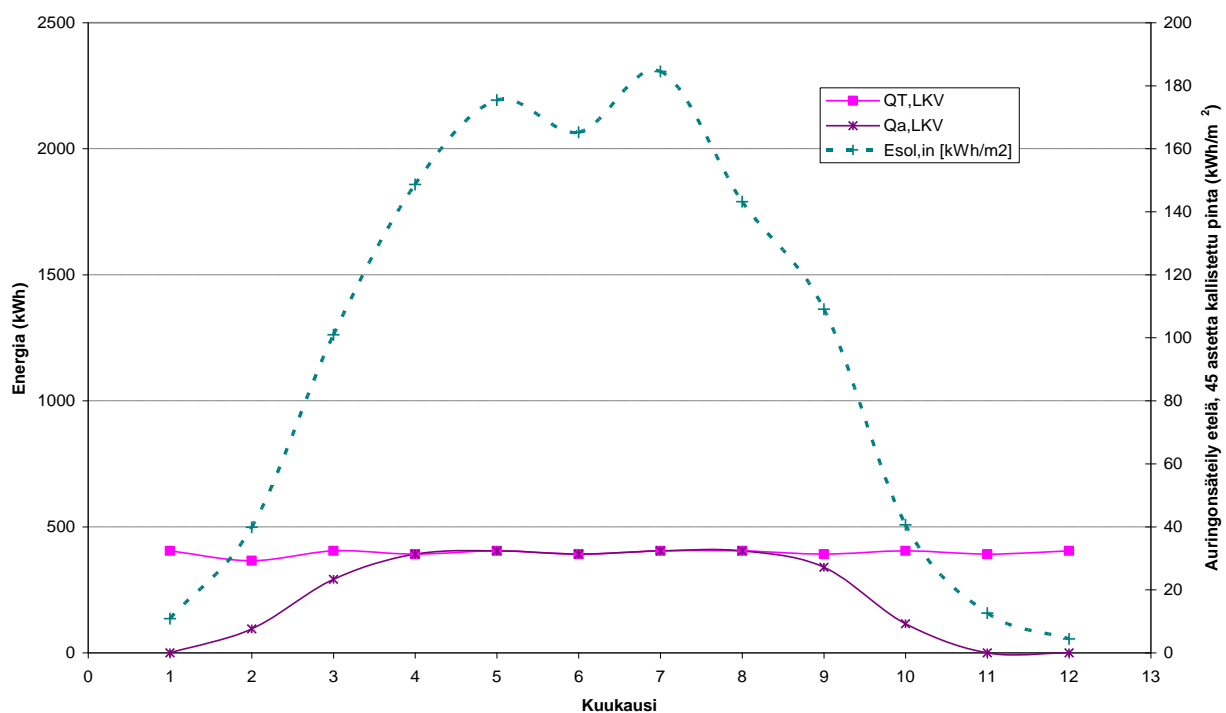
- Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 1
- Keräinpinta-alaa on 8,0 m² (4 kpl 2,0 m² keräimiä)
- Keräimet ovat tasokeräimiä, joiden hyötysuhde $\eta_0=83\%$ ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valmistajan ilmoittamat arvot)
- Keräimet on suunnattu etelään ja niitä on kallistettu 45 astetta
- Lämpimän käyttöveden tarve on 50 l/vrk/henkilö ja suunnittelu tehdään vastaamaan 4 hengen kulutusta
- Lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 astetta ja kylmän veden 5 astetta.
- Lämpimällä käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti
- Varaajan koko on 400 l mistä 200 l osassa on lisälämmitys, jota käytetään yökäytöllä.
- Kiertopumppujen teho on 40 W.

Liitteessä 1 on esitetty laskennan kulku.

Tulokset esitetään kuukausittaisen aurinkoenergian tuottona taulukkona (taulukko 7) tai kuvana (kuva 2).

Taulukko 7. Esimerkki tulosten esitystavasta.

Lähtötiedot:				
Säätiedot:			Säätiedot Helsinki	
Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot				
1. Keräimen koko A		A	8 m ²	
2. Keräimen hyötysuhde n0		n0	0,83 -	
3. Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskerroin		IAM	0,94 -	
4. Keräinpiirin erityis/häviötekijät		Uloop	3,125 W/K	
5. Keräinpiirin pumppujen teho ja käyttöaika		P&t	20 W	2000 h
6. Varaajan koko		V	400 L	
7. Varaajan jako lämmitys/käyttövesi apuenergian osuus		fapu	0,5 -	
LKV tarve		qv/vrk	200	
LKV/keräinA (L/vrk/m ²)		L/vrk/m ²	25	
Keräin A/Varaajan100L		A/100L	2 n0A/100L	1,66
n0*A		n0*A	6,64	
n0*A/kulutus		n0*A/kulut	0,0332 *50L kulutusta kohti=	1,66
Tulokset:				
Kuukausi	LKV:n lämmitys QT,LKV	Auringolla Qa,LKV	LKV XLKV	Ostolämpö varaajaan Qlisälämpö (100% HS)
tam	404,4	0,0	0,0	404,4
hel	365,3	94,8	26,0	270,5
maa	404,4	292,0	72,2	112,5
huh	391,4	391,4	100,0	0,0
tou	404,4	404,4	100,0	0,0
kes	391,4	391,4	100,0	0,0
hei	404,4	404,4	100,0	0,0
elo	404,4	404,4	100,0	0,0
syy	391,4	339,6	86,8	51,7
lok	404,4	115,0	28,4	289,5
mar	391,4	0,0	0,0	391,4
jou	404,4	0,0	0,0	404,4
Vuosi	4761,9	2837,4	59,6	1924,4



Kuva 2. Esimerkki tulosten esitystavasta.

4 Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton laskenta

Oppaan menetelmällä lasketaan
aurinkosähkökennojen (PV-kennojen) tuottama
sähköenergia

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään
kennojen pinta-ala, suuntaus ja kallistus, kennojen
huipputehokerroin, tieto asennustavasta
säteily vaakapinnalle

4.1 Menetelmän käyttötarkoitus

Rakennukseen liitetyn aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia $E_{s,pv,out}$ [kWh/vuosi] lasketaan voidaan laskea tällä menetelmällä, joka noudattaa standardin SFS EN 15316-4-6 menettelytapaa, mihin on liitetty kansalliset kertoimet ja taulukkoarvot.

Menetelmä koskee ainoastaan rakennuksessa tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän energiantuoton laskentaan ja menetelmä ei käsittele sähkön siirtoa, jakelua ja varastointia.

4.2 Laskentamenetelmän kuvaus

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla (11)

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (11)$$

jossa

E_{sol} on vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [kWh/m²,a]

P_{maks} aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref}=1$ kW/m², referenssilämpötilassa 25 °C) [kW]

$F_{käyttö}$ käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]

I_{ref} referenssisäteilytilanne [1 kW/m²]

Kennostoon kohdistuva auringonsäteilyn energia vuoden aikana lasketaan kaavalla (12)

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot F_{asento} \quad (12)$$

jossa

$E_{sol,hor}$ on rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa [kWh/m²,a]. Taulukosta 3.

F_{asento} aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-].

Aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho P_{max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN 61829. Mikäli testattua tulosta ei ole käytettävissä, lasketaan P_{max} kaavasta (13).

$$P_{\text{max}} = K_{\text{max}} \cdot A \quad (13)$$

jossa

K_{max} on huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä [kW/m^2]. Taulukosta 10.

A aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä)

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ ottaa huomioon aurinkokennon ympäristön tekijöitä kuten sähköenergian inversion tasavirrasta vaihtovirtaan, kennon toimintalämpötilan vaikutuksen ja asennusympäristön vaikutuksen.

Menetelmä ei huomioi ympäristön ja rakennusten aiheuttamia varjostuksia aurinkokennoille ja jos niitä esiintyy, ne huomioidaan korjaamalla kerrointa $F_{\text{käyttö}}$ varjostuksen suhteellisella määrällä kokokennoston pinta-alasta ($1 - A_{\text{varjostus}}/A_{\text{kokonaisala}}$).

Aurinkokennojen mahdollisen tarvitseman apuenergian kulutusta ei lasketa erikseen, ja aurinkokennojen tuottamassa energiassa on mukana ainoastaan nettoenergia.

Aurinkokennojen mahdollisesti tuottamaa lämpöä tai niistä talteen otettavaa lämpöä ei oteta huomioon rakennuksen energiataselaskennassa.

Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F_{asento} lasketaan kaavalla (14)

$$F_{\text{asento}} = F_1 F_2 \quad (14)$$

jossa F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin
 F_2 on kallistuksen mukainen kerroin

Taulukko 8. F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin (-).

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 9. F_2 on kallistuksen mukainen kerroin (-)

Kallistus- Kulma	Kerroin
$<30^\circ$	1
$30^\circ \dots 70^\circ$	1,2
$>70^\circ$	1

Taulukko 10. Huipputehokerroin K_{max} , joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (kW/m^2).

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{max} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe ₂ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Taulukko 11. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}[-]$

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuuletettu moduli	0,80

4.3 Kuukausitason aurinkosähkön tuoton laskenta

Mikäli on tarpeen selvittää aurinkosähkökennojen kuukausittainen sähkön tuotto, voidaan laskenta tehdä jakamalla vuositason tuotto kuukausitasolle vaakatasolle tulevien kuukausittaisten säteilysummien (taulukko 1) suhteessa. Jos esimerkiksi vaakatasolle lankeava kuukauden säteilysumma on 8 % koko vuoden säteilystä, kuukauden sähköntuotto on 8 % koko vuoden sähköenergian tuotosta (kaavasta 11).

4.4 Esimerkki aurinkosähkön tuoton laskennasta

Liitteessä 2 on esitetty esimerkki aurinkosähkökennojen sähköenergian tuoton laskennasta.

Esimerkkilaskelman suunnitteluratkaisu on seuraava:

- rakennus sijaitsee Jyväskylässä.
- aurinkosähkökennojen pinta-ala on $20 m^2$.
- kennojen suuntaus on etelään ja kennot sijaitsevat pystyasennossa eteläseinällä
- suunnitteluratkaisussa käytettyjen aurinkosähkökennojen huipputehokerroin on $K_{max} = 0,15 kW/m^2$. (vastaa hyötysuhdetta 15 % säteilyreferenssin $1 kW/m^2$ tilanteessa).

- kennot on asennettu ulkoseinälle hieman irti varsinaisesta rakenteesta ja kennot ovat hieman tuuletettuja.
- laskentatulokset esitetään sekä kuukausi- että vuosituotona.

Laskennan kulku on esitetty liitteessä 2.

5 Yhteenveto

Tämä opas käsittelee vuonna 2012 uusiutuvien Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien laskentaa.

Aurinkolämmön osalta esitetään laskentatapa, jolla osoitetaan aurinkolämpökeräimien avulla saatava käyttöveden lämmityksessä hyödynnettävä energiamäärä. Menetelmä pohjautuu standardiin SFS-EN 15316-4-3, mihin opas esittää suomalaiset säätiedot ja taulukkoarvot. Yksinkertaistettu Suomen rakentamismääräyskokoelmien osan D5 esittämä menetelmä antaa mahdollisuuden määrittää aurinkolämpöjärjestelmän tuoton, vaikka laskennan lähtötietoja tunnetaan vähän. Tämän oppaan menetelmä kuvaa myös tarkemman menetelmän, mikä vaatii enemmän lähtötietoja suunnitteluratkaisusta. Menetelmä vaatii enemmän laskentaa ja lähtötietojen selvittämistä, mutta toisaalta tarkempi laskenta antaa aurinkolämpöjärjestelmän lämmöntuotolle oikeamman lukuarvon kuin yksinkertaistettu menetelmä. Yksinkertaistettu menetelmä perustui esilaskettuihin arvoihin, ja esilasketun järjestelmän lähtötietoina käytettiin ns. varman päälle määritettyjä hyötysuhde ja –häviötietoja ('penalty value'-arvot).

Aurinkosähkön osalta esitetään aurinkosähkökennoilla auringonsäteilystä saatava sähköenergian määrä, joka on hyödynnettävissä rakennuksen sähköjärjestelmässä. Menetelmä pohjautuu standardiin SFS EN 15316-4-6, mihin opas esittää suomalaiset säätiedot ja taulukkoarvot. Menetelmä on tarkoitettu vuosien energian tuoton laskentaa oletuksena, että tuotettu sähköenergia kulutetaan kohteessa joko suoraan tai varastoidaan akkuihin ja käytetään sieltä. Oppaassa esitetään myös menetelmä vuosien energian tuoton jakamiseksi kuukausitasolle.

Oppaassa käsitellään laskennan periaatteet sekä esitetään esimerkit laskelmista. Oppaan suositukset, sovellusesimerkit ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.

Lähdeluettelo

1. Beckman, W.A., Klein, S.A., Duffie J.A., Solar heating design by the f-Chart Method. Wiley-Interscience, New York, 1977.
2. Kreider, J.K., Kreith, F., Solar energy handbook. McGraw-Hill, 1981.
3. Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S., Suokivi, H., Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. 2001. Nurmijärvi.

Aihealueen standardeja ja standardiluonnoksia:

SFS-5316-4-3; 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. osa 4-3: Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkolämpölaitteistot. Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems. 2008. 46 s.

SFS-EN 15316-4-6; 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. OSA 4-6: Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkosähkölaitteistot. Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-6: Heat generation systems, photovoltaic systems. 18 s.

SFS EN 12975-1:2006, Thermal solar systems and components — Solar collectors — Part 1: General requirements.

SFS EN 12975-2:2006, Thermal solar systems and components — Solar collectors — Part 2: Test methods.

SFS EN 12976-1:2006, Thermal solar systems and components — Factory made systems — Part 1: General requirements.

ENV 12977-1:2001, Thermal solar systems and components — Custom built systems — Part 1: General requirements.

ENV 12977-2:2001, Thermal solar systems and components — Custom built systems — Part 2: Test methods.

ENV 12977-3, Thermal solar systems and components — Custom built systems — Part 3: Performance characterisation of stores for solar heating systems.

prEN 15316-3-1, Heating systems in buildings — Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies — Part 3-1: Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements).

prEN 15316-3-2, Heating systems in buildings — Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies — Part 3-2: Domestic hot water systems, distribution.

LIITE 1 Esimerkkilaskelma aurinkolämmön hyödyntämisestä lämpimän käyttöveden tuotossa

Lähtötiedot

Käyttövedettä lämmitetään aurinkokeräinjärjestelmällä. Seuraavat suunnittelun lähtötiedot ovat käytettävissä.

- Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 1
- Keräinpinta-alaa on $8,0 \text{ m}^2$ (4 kpl $2,0 \text{ m}^2$ keräimiä)
- Keräimet ovat tasokeräimiä, joiden hyötysuhde $\eta_0=83\%$ ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valmistajan ilmoittamat arvot)
- Keräimet on suunnattu etelään ja niitä on kallistettu 45 astetta
- Lämpimän käyttöveden tarve on 50 L/vrk/henkilö ja suunnittelu tehdään vastaamaan 4 hengen kulutusta
- Lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 astetta ja kylmän veden 5 astetta.
- Lämpimällä käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti
- Varaajan koko on 400 l mistä 200 l osassa on lisälämmitys, jota käytetään yökäytöllä.
- Kiertopumppujen teho on 40 W.

Laskenta

Menetelmä 1: Yksinkertainen laskenta D5 menetelmällä

Aurinkolämmön tuotto lasketaan käyttäen säävyöhykkeelle 1 taulukossa 1 määritettyä ominaistuottoarvoa $156 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$.

Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa käyttövedestä

$$Q=156 \text{ kWh/m}^2, \text{a} * 8,0 \text{ m}^2 * 1,0 = 1248 \text{ kWh /a}$$

Menetelmä 2: Laskenta tämän oppaan menetelmällä.

Osan D3 säätietojen taulukosta saadaan kuukausittaiset keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilyenergiat vaakapinnalle:

	Ulkoilman keskilämpötila	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$, kWh/m ²
Kuukausi		
Tammikuu	-3,97	6,2
Helmikuu	-4,5	22,4
Maaliskuu	-2,58	64,3
Huhtikuu	4,5	119,9
Toukokuu	10,76	165,5
Kesäkuu	14,23	168,6

Heinäkuu	17,3	180,9
Elokuu	16,05	126,7
Syyskuu	10,53	82
Lokakuu	6,2	26,2
Marraskuu	0,5	8,1
Joulukuu	-2,19	4,4
Koko vuosi	5,57	975

Etelään suunnatulle 45 astetta kallistetulle pinnalle korjauskertoimet löytyvät tämän oppaan taulukosta 4.

Tammikuu	1,75
Helmikuu	1,78
Maaliskuu	1,57
Huhtikuu	1,24
Toukokuu	1,06
Kesäkuu	0,98
Heinäkuu	1,02
Elokuu	1,13
Syyskuu	1,33
Lokakuu	1,55
Marraskuu	1,56
Joulukuu	1,00

Säteilytiedon (sarake A) ja suuntauksen ja kallistuksen korjauskertoimen (sarake B) avulla lasketaan kuukausittainen säteilyenergia pinnalle (sarake C) sekä keskimääräinen teho pinnalle (sarake F=sarake C*1000/sarake E).

	A	B	C	D	E	F
	Helsinki	Korjauskerr oin 45 astetta etelä	Säteily kallistetulle pinnalle	päiviä/kk	tunteja/kk	Keski- määräinen säteilyteho/kk
	(-)	(-)	kWh/m ² /kk	d	h	W/m ²
Tammikuu	6,20	1,75	10,85	31	744	14,58
Helmikuu	22,40	1,78	39,87	28	672	59,33
Maaliskuu	64,30	1,57	100,95	31	744	135,69
Huhtikuu	119,90	1,24	148,68	30	720	206,49
Toukokuu	165,50	1,06	175,43	31	744	235,79
Kesäkuu	168,60	0,98	165,23	30	720	229,48
Heinäkuu	180,90	1,02	184,52	31	744	248,01
Elokuu	126,70	1,13	143,17	31	744	192,43
Syyskuu	82,00	1,33	109,06	30	720	151,47
Lokakuu	26,20	1,55	40,61	31	744	54,58
Marraskuu	8,10	1,56	12,64	30	720	17,55
Joulukuu	4,40	1	4,40	31	744	5,91
	975,2		1135,402	365	8760	

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen häviötön lämmityksen tarve lasketaan

$$200 \text{ l/vrk} * 1 \text{ kg/l} * \text{vrk lukumäärä/kk} * 4,19 \text{ kJ/kgK} * (55-5) \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{taulukon sarakkeessa H})$$

Lämpimälle käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti, jolloin häviötön lämmityksen tarve kerrotaan luvulla 1/0,89 (D5 taulukko 6.3) jolloin saadaan lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve $Q_{\text{tarve,A}}$ (sarakkeessa I).

	G	H	I
	päiviä/kk	LKV lämmön tarve	LKV+jakeluhäviö
	d	kWh/kk	kWh/kk
Tammikuu	31	359,94	404,43
Helmikuu	28	325,11	365,29
Maaliskuu	31	359,94	404,43
Huhtikuu	30	348,33	391,39
Toukokuu	31	359,94	404,43
Kesäkuu	30	348,33	391,39
Heinäkuu	31	359,94	404,43
Elokuu	31	359,94	404,43
Syyskuu	30	348,33	391,39
Lokakuu	31	359,94	404,43
Marraskuu	30	348,33	391,39
Joulukuu	31	359,94	404,43
	365	4238,06	4761,86

Keräimet ovat tasokeräimiä, joiden hyötysuhde $\eta_0=83\%$ ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kerointa a_2 valmistaja ei ole ilmoittanut, joten käytetään arvoa $a_2=0$. IAM = 0,94 lasikatteisille tasokeräimille. Keräinpiirin putkiston eristystasoa ei tunneta, joten putkiston lämpöhäviökerrointa ei lasketa tarkalla menetelmällä, vaan kaavalla $U_L = 5 + 0,5 A = 5 + 0,5 * 8,0 = 9 \text{ W/K}$. Koko keräinpiirille lämpöhäviökertoimeksi saadaan $U_C = a_1 + 40 a_2 + U_L/A = 2,0 + 40 * 0 + 9 / 8 = 3,125 \text{ W/m}^2\text{K}$. Keräinpiirin hyötysuhteena käytetään oletusarvoa $\eta_{\text{kierto}} = 0,8$.

Aurinkolämmön varaajan koko tilavuus on 400 litraa, 200 litran osassa on lisälämmitys, jota käytetään yöllä, jolloin

$$x=0,7, V_{\text{nim}}=400 \text{ l}, V_{\text{LL}}=200 \text{ l}, \text{ jolloin saadaan}$$

$$f_{\text{apu}}=0,7*200/400=0,35$$

$$V_{\text{tod}}=400*(1-0,35)=260 \text{ l}$$

$$\text{Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan } c_{\text{cap}} = (260 \text{ L}/(75 \text{ L/m}^2*8 \text{ m}^2))^{-0,25} = 1,2325$$

Kaavassa (6) tarvittava referenssilämpötila lasketaan joka kuukaudelle erikseen kaavalla $\theta_{\text{ref}} = 11,6 + 1,180 \theta_{\text{hw}} + 3,86 \theta_{\text{cw}} - 1,32 \theta_e$, missä keskimääräinen ulkolämpötila θ_e saadaan säätiedoista, $\theta_{\text{hw}}=40 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $\theta_{\text{cw}}=5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Saadaan taulukko

	J	K	L
	θ_e	θ_{ref}	ΔT
Tammikuu	-3,97	83,34	87,31
Helmikuu	-4,5	84,04	88,54
Maaliskuu	-2,58	81,51	84,09
Huhtikuu	4,5	72,16	67,66
Toukokuu	10,76	63,90	53,14
Kesäkuu	14,23	59,32	45,09
Heinäkuu	17,3	55,26	37,96
Elokuu	16,05	56,91	40,86
Syyskuu	10,53	64,20	53,67
Lokakuu	6,2	69,92	63,72
Marraskuu	0,5	77,44	76,94
Joulukuu	-2,19	80,99	83,18

Dimensiottomat suureet X ja Y lasketaan kaavoista (4) ja (5) jokaiselle kuukaudelle erikseen

$$X = \frac{A \cdot U_c \eta_{kierto} \Delta T \cdot t_h c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (4)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_o \eta_{kierto} Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (5)$$

ja aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla (3)

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (3)$$

Tammikuu:

$$X = 8 \text{ m}^2 * 3,125 \text{ W/m}^2\text{K} * 0,8 * 87,31^\circ\text{C} * 744 \text{ h} * 1,2325 / (404,43 \text{ kWh} * 1000\text{W/kW}) = 3,9593$$

$$Y = 8 \text{ m}^2 * 0,94 * 0,83 * 0,8 * 10,85 \text{ kWh} / 404,43 \text{ kWh} = 0,1340$$

$$Q_{tuotto} = -38,67 \text{ kWh}$$

Huom!

jos laskennallinen $Q_{tuotto} < 0$, $Q_{tuotto} = 0$ tai

jos $Q_{tuotto} > Q_{tarve}$, (käyttöveden lämmityksen tarve), $Q_{tuotto} = Q_{tarve}$

Helmikuu:

$$X = 8 \text{ m}^2 * 3,125 \text{ W/m}^2\text{K} * 0,8 * 88,54^\circ\text{C} * 744 \text{ h} * 1,2325 / (365,29 \text{ kWh} * 1000\text{W/kW}) = 4,0151$$

$$Y = 8 \text{ m}^2 * 0,94 * 0,83 * 0,8 * 39,87 \text{ kWh} / 365,29 \text{ kWh} = 0,545$$

$$Q_{tuotto} = 94,82 \text{ kWh}$$

ja niin edelleen maaliskuu...joulukuu laskien saadaan taulukko

	X	Y	Q
Tammikuu	3,9593	0,1340	0,00
Helmikuu	4,0151	0,5450	94,82

Maaliskuu	3,8131	1,2464	291,95
Huhtikuu	3,0682	1,8968	391,39
Toukokuu	2,4096	2,1659	404,43
Kesäkuu	2,0445	2,1080	391,39
Heinäkuu	1,7216	2,2781	404,43
Elokuu	1,8531	1,7676	404,43
Syyskuu	2,4338	1,3914	339,65
Lokakuu	2,8894	0,5014	114,97
Marraskuu	3,4890	0,1612	0,00
Joulukuu	3,7720	0,0543	0,00
		yht.	2837,45

Tulokset

Yhdistämällä kuukausittaiset aurinkolämmön osuudet saadaan vuosituotoksi 2837 kWh/a mikä on 59,6 % käyttöveden lämmityksen tarpeesta. Luvussa 4.4. esitetty tarkennettu laskentamenetelmä antaa siis huomattavasti suuremman aurinkolämmön tuoton (2837 kWh/a) kuin luvun 4.3 esittämä yksinkertaistettu menetelmä (1248 kWh/a, aikaisemmin liitteessä 1, kohdassa menetelmä 1). Onkin suositeltavaa käyttää luvun 4.4 tarkempaa laskentamenettelyä, mikäli menetelmän vaatimat suunnitteluratkaisun tiedot tunnetaan.

LIITE 2 Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskennasta

Lähtötiedot:

Esimerkkilaskelman suunnitteluratkaisu on seuraava:

- rakennus sijaitsee Jyväskylässä.
- aurinkosähkökennojen pinta-ala on 20 m^2 .
- kennojen suuntaus on etelään ja kennot sijaitsevat pystyasennossa eteläseinällä
- suunnitteluratkaisussa käytettyjen aurinkosähkökennojen huipputehokerroin on $K_{\max} = 0,15 \text{ kW/m}^2$. (vastaa hyötysuhdetta 15 % säteilyreferenssin 1 kW/m^2 tilanteessa).
- kennot on asennettu ulkoseinälle hieman irti varsinaisesta rakenteesta ja kennot ovat hieman tuuletettuja.
- laskentatulokset tarvitaan sekä kuukausi että vuosituotona.

Laskenta:

Jyväskylän säteilytiedot vaakapinnalle saadaan taulukosta 1. Vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa $E_{\text{sol,hor}} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$. Ilmansuunnan mukainen kerroin etelään suunnatulle pinnalle $F_1 = 1,0$ ja kallistuksen mukainen kerroin pystypinnalle $F_2 = 1,0$. Tällöin $E_{\text{sol}} = E_{\text{sol,hor}} \cdot F_{\text{asento}} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$.

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ hieman tuulettuvalle rakenteelle on 0,75.

Maksimisähköteho referenssisäteilytilanteessa $P_{\max} = K_{\max} A = 0,15 \text{ kW/m}^2 * 20 \text{ m}^2 = 3 \text{ kW}$.

Tulokset:

Vuotuiseksi sähköntuotoksi saadaan

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{\text{sol}} \cdot P_{\max} \cdot F_{\text{käyttö}}}{I_{\text{ref}}} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a} * 3 \text{ kW} * 0,75 / 1 \text{ kW/m}^2 = 2002,5 \text{ kWh/a}.$$

Laskennallinen kuukausijaottelu tehdään jakamalla vuositason tuotto kuukausitasolle vaakatasolle tulevien kuukausittaisten säteilysummien suhteessa.

Kuukausi	vaakatason säteilysumma	suhteellinen osuus vuoden	Tuotto kWh/kk
----------	-------------------------	---------------------------	---------------

	kWh/kk	säteilysummasta	
Tammikuu	5	0,006	11,3
Helmikuu	20	0,023	45,1
Maaliskuu	52	0,059	117,3
Huhtikuu	103	0,116	232,3
Toukokuu	171	0,193	385,6
Kesäkuu	159	0,179	358,6
Heinäkuu	158	0,178	356,3
Elokuu	114	0,128	257,1
Syyskuu	71	0,080	160,1
Lokakuu	25	0,028	56,4
Marraskuu	7	0,008	15,8
Joulukuu	3	0,003	6,8
Summa	888*	1,000	2002,5

*Huom. pyöristysten vuoksi kuukausiarvojen summa 888 kWh/m²,a eroaa hieman taulukon 1 vuosisummasta 890 kWh/m²,a.

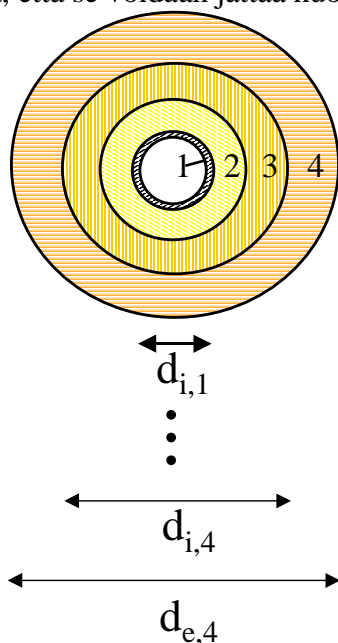
LIITE 3 Aurinkolämpöjärjestelmän putkiston lämpöhäviöiden laskenta

Pyöreän kerroksellisen putken (kuva 1) lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1}} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{d_{e,j}}{d_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_{e,n} \cdot \pi \cdot d_{e,n}}$$

missä	U'	on putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti, (W/(m,K))
	$\alpha_{i,1}$	on putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, (W/(m ² ,K))
	$d_{i,1}$	on putken sisähalkaisija, (m)
	λ_j	on putkikerroksen, j, lämmönjohtavuus, (W/(m,K))
	$d_{e,j}$	on putkikerroksen, j, ulkohalkaisija, (m)
	$d_{i,j}$	on putkikerroksen, j, sisähalkaisija, (m)
	$\alpha_{e,n}$	on putken ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, (W/(m ² ,K))
	$d_{e,n}$	on putken ulkohalkaisija, (m)

Nestemäisillä lämmönsiirtoaineilla (esimerkiksi vesikiertoisissa lämmönjako-verkostoissa) putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin ($\alpha_{i,1}$) on usein suuri ja siten pintavastus ($1/(\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1})$) niin pieni muihin lämmönvastuksiin verrattuna, että se voidaan jättää huomioon ottamatta.



Kuva 1. Kerroksellinen putkieristys.