



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Toni Nieminen

# Kalvopaisunta-astian mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

9.2.2021

Tekijä Otsikko	Toni Nieminen Kalvopaisunta-astian mitoitus
Sivumäärä Aika	30 sivua + 3 liitettä 9.2.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	lehtori Markku Leino
<p>Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin kalvopaisunta-astian mitoitukseen vesikiertosiin lämmitysjärjestelmiin ja siihen, kuinka eri tahojen julkaisemat paisunta-astian mitoitukset eroavat toisistaan. Työn tarkoituksena oli myös tuottaa excel-pohjainen laskentatyökalu helpottamaan mitoitusta ja sen dokumentointia.</p> <p>Työssä läpi käytiin paisunta-astian mitoitusta eri mitoitustavoilla. Laskentaa käytiin läpi teoreettisesti ilman todellista kohdetta. Eri mitoitustapojen vertailua käytiin läpi graafisesti sekä sanallisesti kuvitteellisilla lämmitysjärjestelmillä, joihin valittiin esimerkkiin soveltuvat lähtökohdat. Esiteltiin myös yksi todellisen kohteen mitoitus.</p> <p>Vertailtaessa eri mitoitustapojen tuloksia voitiin todeta, että pienemmissä ja matalalämpöisemmissä järjestelmissä mitoitustavalla ja painetasojen valinnalla ei ollut niin suurta merkitystä. Järjestelmien kasvaessa suuremmiksi ja toimiessaan suuremmissa lämpötiloissa vaikuttivat nämä mitoitustulosten hajontaan.</p> <p>Työn lopputuloksena voidaan todeta, että paisunta-astian mitoitus eroavaisuudet eivät johdu esitetystä kaavoista, vaan ennemminkin painetasojen valinnoista. Oikein mitoitettulla ja valitulla paisunta-astialla saadaan pitkäikäinen ja toimiva paisuntajärjestelmä.</p>	
Avainsanat	kalvopaisunta-astia, painetasot, mitoitus

Author Title	Toni Nieminen Sizing of Expansion Vessel
Number of Pages Date	30 pages + 3 appendices 9 February 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Markku Leino, Senior Lecturer
<p>In this bachelor's thesis, the operation of the expansion vessel was presented. The focus was on closed heating systems where the flowing liquid was water. The purpose was to produce an Excel-based calculation tool for expansion vessel dimensioning.</p> <p>The work started with the study of sizing methods published by various parties. The sizing was carried out on a theoretical basis without a real example. The results of the different sizing methods were compared with each other with imaginary systems and the advantages and disadvantages of each sizing method were highlighted.</p> <p>In the thesis, a tool was made to facilitate the sizing of the expansion vessel used by the commissioning company. Three sizing methods were used to develop the calculation tool in order to establish which would be the best for the tool. In the end, a dimensioning report and a service sticker were printed from the calculation.</p> <p>The thesis established that a good sizing result can be achieved by using several different sizing methods. The choice of pressure levels in the calculations make the biggest difference in the calculation, and this should be taken into account in the design.</p>	
Keywords	expansion vessel, closed heating system, sizing method

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paisuntajärjestelmät	1
2.1	Avoin paisuntajärjestelmä	2
2.2	Suljettu paisuntajärjestelmä	4
2.2.1	Kompressoriohjattu paisunta-astia	5
2.2.2	Pumppuohjattu paisunta-astia	6
3	Kalvopaisunta-astiat	7
3.1	Sijainti ja kytkentä	7
3.2	Rakenne	9
4	Paisunta-astian mitoitus	10
4.1	Järjestelmän lähtötiedot	10
4.2	Painetasot	11
4.3	SFS-EN 12828	13
4.4	LVI 11-10472 $p_{rak} \geq 300$ kPa	15
4.5	LVI 11-10472 $p_{rak} 150$ kPa	19
4.6	Flamco	20
4.7	Prosenttiosuus	22
5	Vertailu	22
6	Kalvopaisunta-astian mitoitustyökalu	24
7	Esimerkkikohde	26
8	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Putkien vesitilavuuksia	

Liite 2. Veden ominaisuuksia

Liite 3. Paisunta-astian mitoitustyökalu

## Lyhenteet

p<sub>rak</sub> Järjestelmän rakennepaine.

## 1 Johdanto

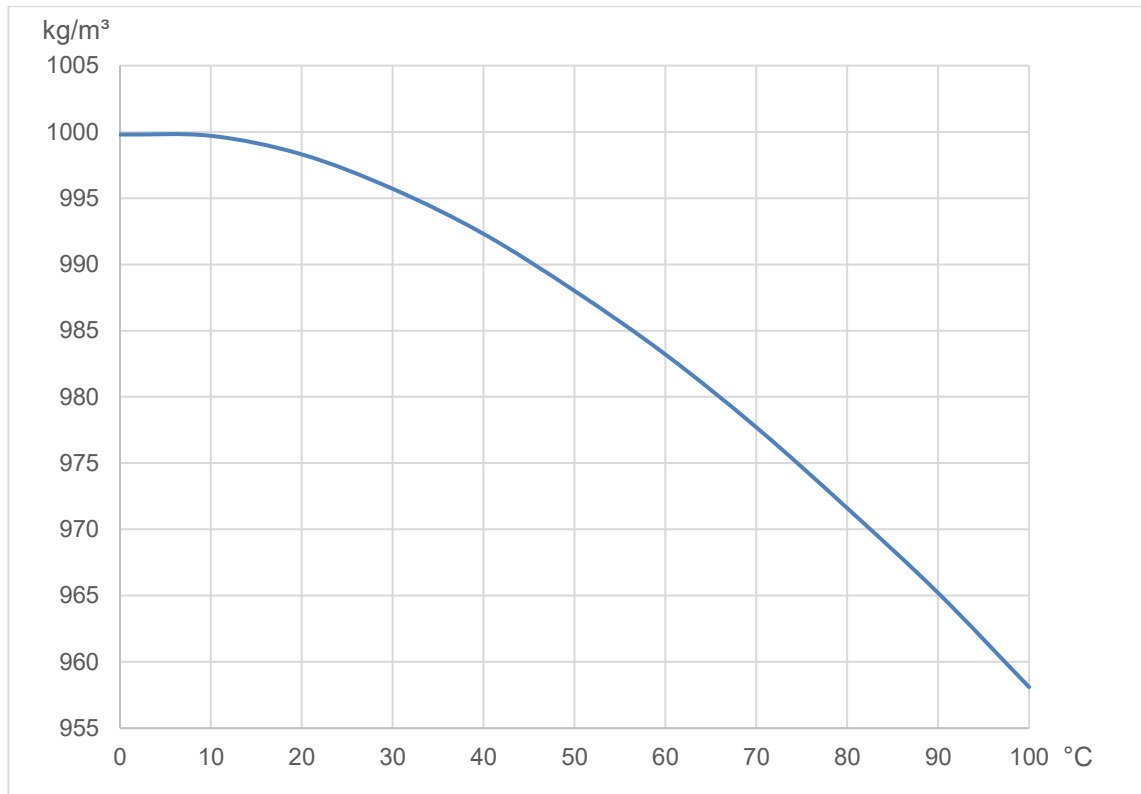
Vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät varustetaan erilaisin varolaittein, joilla suojellaan käyttäjiä sekä omaisuutta. Paisuntalaitteet ovat yksi yleisimmistä laitteista, joilla otetaan veden tilavuuden muutosta vastaan veden lämmitessä. Nykyään yleisin paisuntalaite on kalvopaisunta-astia, joka on syrjäyttänyt avoimen paisunta-astian korroosiovaaran vuoksi.

Tässä työssä perehdytään vesikiertoisten järjestelmien kalvopaisunta-astioihin ja erityisesti niiden mitoittamiseen. Työssä käydään läpi muutamia eri laskentatapoja mitoittaa paisunta-astioita. Lopuksi näitä vertaillaan keskenään ja analysoidaan niiden eroavaisuuksia.

Työn tarkoituksena on tuottaa kalvopaisunta-astian excel-pohjainen mitoitusyökalu, jolla voidaan helposti mitoittaa vesikiertoisen lämmitysjärjestelmien paisuntalaitteet. Mitoituksesta saadaan myös selkeä tuloste, josta nähdään, millä perustein mitoitus on tehty, valitun paisunta-astian koko sekä painetasot, joilla järjestelmä toimii. Tulosteeksi saadaan myös huoltotarra paisunta-astian kylkeen liimattavaksi huoltoa helpottamaan.

## 2 Paisuntajärjestelmät

Rakennusten lämmitysjärjestelmissä veden lämpötila muuttuu tarpeen mukaan. Lämmityskaudella veden lämpötila on korkeimmillaan, ja taasen kesäaikaan veden lämpötilaa voidaan laskea matalammaksi, jolloin kohteen mukaan lämmitystehontarvetta ei ole tai lämmitystä tarvitaan vain käyttöveden tuottamiseen. Veden lämmitessä sen tiheys ja näin ollen myös tilavuus kasvaa kuvan 1 mukaisesti. Veden tiheys on suurimmillaan +4 °C:ssa. [1, s. 200.]



Kuva 1. Veden tiheyden muutos veden lämpötilan muuttuessa.

Nestekiertoisessa järjestelmässä voidaan käyttää myös erilaisia lisäaineita veteen sekoitettuna. Yleisimpiä käytettyjä aineita ovat alkoholit, joilla estetään nesteen jäätymistä järjestelmissä, joissa on jäätymisvaara. Käytettäessä nesteenä jotain muuta kuin pelkkää vettä on huomioitava käytettävän nesteen ominaisuudet. [1, s. 204.] Tässä työssä käsitellään vain vesikiertoisia järjestelmiä.

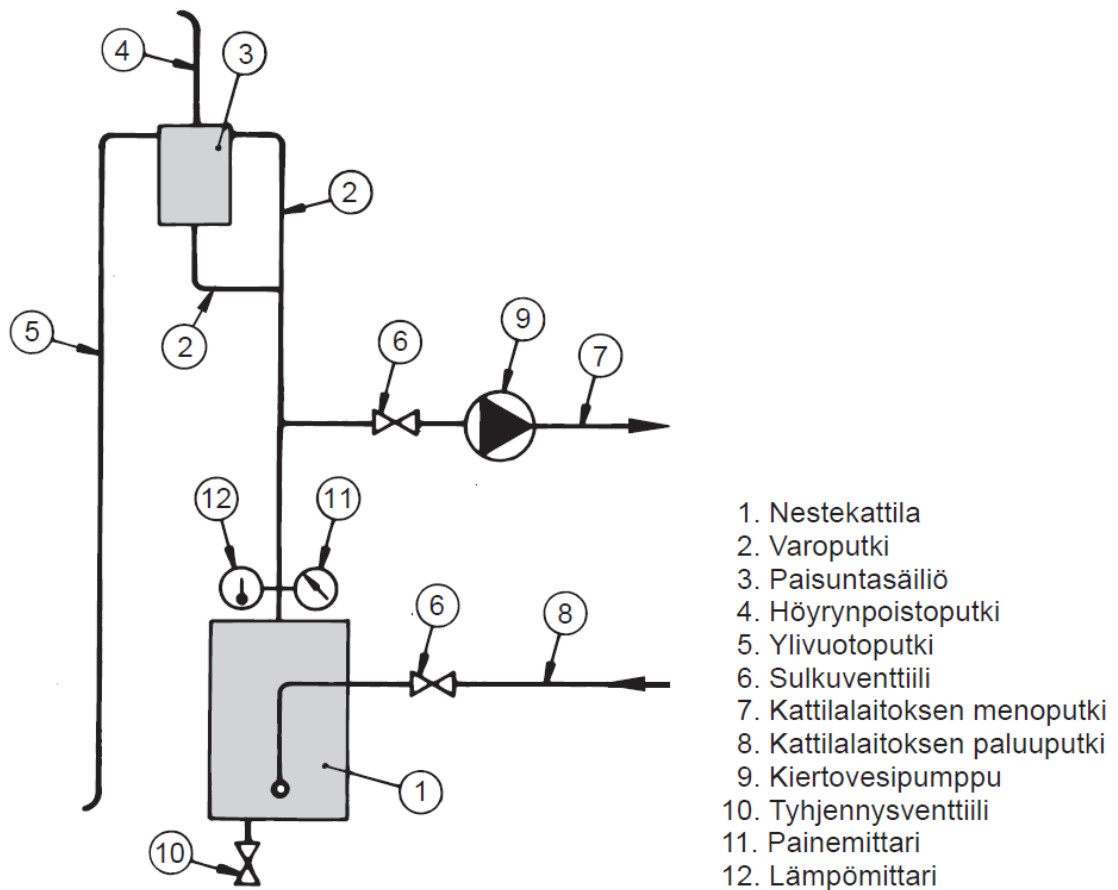
Veden tilavuuden muutoksen myötä lämmitysjärjestelmät on varustettava erilaisin varolaittein, joilla suojellaan niin käyttäjiä kuin omaisuuttakin. Paisuntalaitteet ovat hyväksi todettuja varolaitteita, joilla otetaan veden tilavuuden muutos vastaan. [1, s. 200.]

## 2.1 Avoin paisuntajärjestelmä

Avoin paisuntajärjestelmä on jäänyt nykyrakentamisesta pois sisäpuolisen korroosion vuoksi. Avoimessa paisuntajärjestelmässä on nimensä mukaan avoin paisunta-astia, joka asennetaan järjestelmän korkeimpaan kohtaan. Paisunta-astia voi olla jopa



ullakkotilassa, jolloin mahdollinen jäätymisvaara on huomioitava. Järjestelmän vesi on yhteydessä ulkoilmaan, joka aiheuttaa hapen pääsemisen lämmitysjärjestelmän veteen. Tämä aiheuttaa korroosiota varsinkin ilman ja veden rajapinnassa paisunta-astiassa, joka usein on materiaaliltaan terästä. Korroosiota voidaan hidastaa huoltamalla paisunta-astiaa riittävän usein esimerkiksi maalaamalla astian sisäpinta maalilla, joka estää terästä syöpmästä. [2, s. 76.] Kuvasta 2 selviää periaate laitteistosta, johon on liitetty avoin paisuntajärjestelmä.



Kuva 2. Avoimen paisunta-astian periaate [3, s. 6].

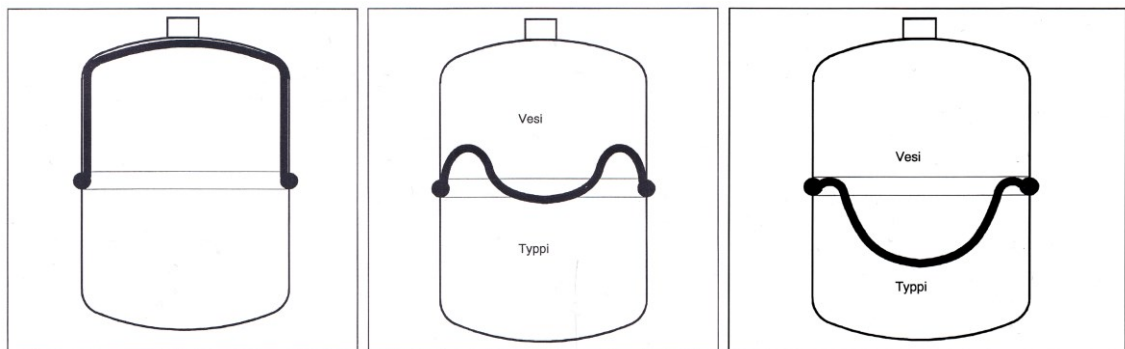
Lämmitysjärjestelmä kytketään paisuntajohdolla avoimen paisunta-astian alaosaan. Kiinteän polttoaineen järjestelmissä voi olla kiehumisriski. Tämän takia paisunta-astiaan tuodaan erikseen vielä kiehumajohto astian yläosaan, jonka kautta kiehumisesta syntyvä vesihöyry pääsee suoraan avoimen paisunta-astian veden pinnan yläpuolelle.

Ylivuotoputken kautta paisunta-astian ylimääräinen vesi pääsee pois, yleensä lämmönjako huoneen lattiakaivoon. [2, s. 76.]

## 2.2 Suljettu paisuntajärjestelmä

Suljetussa paisuntajärjestelmässä ulkoilma ei pääse kosketuksiin järjestelmän veden kanssa. Paisuntalaitteilla pidetään järjestelmän painetta suunnitelluissa rajoissa, mutta häiriöiden vuoksi järjestelmä on varustettava varoventtiilillä, joka päästää ylipaineen pois. [2, s. 77.] Varoventtiilin mitoitukseen on ohjeistus ohjekortissa LVI 11-10472. Varoventtiili voidaan myös valita suoraan taulukosta Flamcon Prescor -varoventtiilien valintataulukosta [4.].

Suljetussa järjestelmässä paisunta-astiat ovat yleensä kalvolla varustettuja paisunta-astioita. Paisunta-astia voi olla joissain tapauksissa myös ilman kumikalvoa. Tällöin kaasu ja järjestelmän neste ovat kosketuksissa toisiinsa. [3, s. 6.] Kalvopaisunta-astiassa kumikalvo ottaa paineen vaihtelua vastaan kuvan 3 mukaisesti.



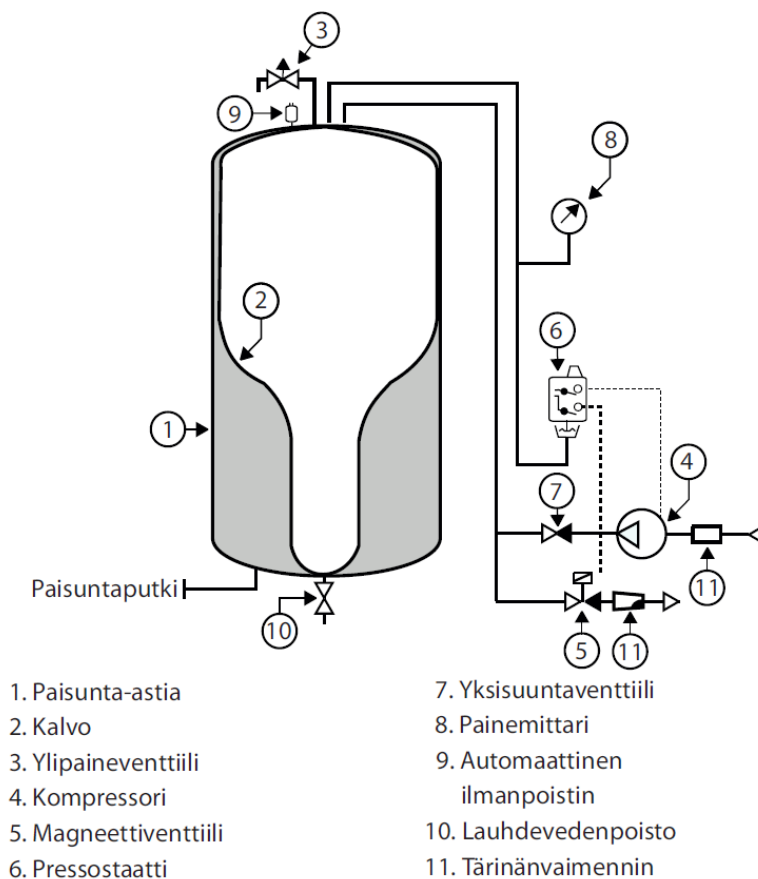
Kuva 3. Kalvopaisunta-astian kalvon liike paineen vaihdellessa [5, s. 153–154].

Järjestelmän ollessa vielä paineeton on kumikalvo painautunut kiinni vesiyhteeseen esipaineen vaikutuksen takia. Kun järjestelmään lisätään vettä ja vesipuolen paine ylittää paisunta-astian esipaineen, alkaa vesi työntämään kumikalvoa ja näin pienentää kaasupuolen tilavuutta. Veden lämmitessä kaasun tilavuus paisunta-astiassa pienenee entisestään. Jos järjestelmässä on liikaa vettä paisuntatilavuuteen nähden, varoventtiili aukeaa päästäten ylimääräisen paineen pois. [5, s. 153.]

Suuremmissa järjestelmissä paisunta-astioiden kokojen kasvaessa suuriksi tulee vastaan asetus painelaitteiden turvallisuudesta. Paisunta-astian suurimman sallitun paineen ja vesitilavuuden tulon ollessa enemmän kuin 3 000 bar x L on painelaite rekisteröitävä ja suoritettava määräaikaistarkastuksia. Tarvittava paisuntatilavuus voidaan jakaa myös useammalle pienemmälle paisunta-astialle. Tällöin paineen ja tilavuuden tulo lasketaan jokaisesta paisunta-astiasta erikseen. [3, s. 1.]

### 2.2.1 Kompressoriohjattu paisunta-astia

Kompressoriohjattu paisunta-astia on yksi vaihtoehto, jos tarvittava paisuntatilavuus kasvaa kohtuuttoman suureksi hoidettavaksi pelkällä kalvopaisunta-astialla. Periaate kompressoriohjatuissa on sama kuin kalvopaisunta-astioissa, mutta kaasupuolen painetta säädelä kompressorin avulla. [3, s. 6.] Kuvassa 4 on esitetty periaate kompressoriohjattusta paisuntayksiköstä.

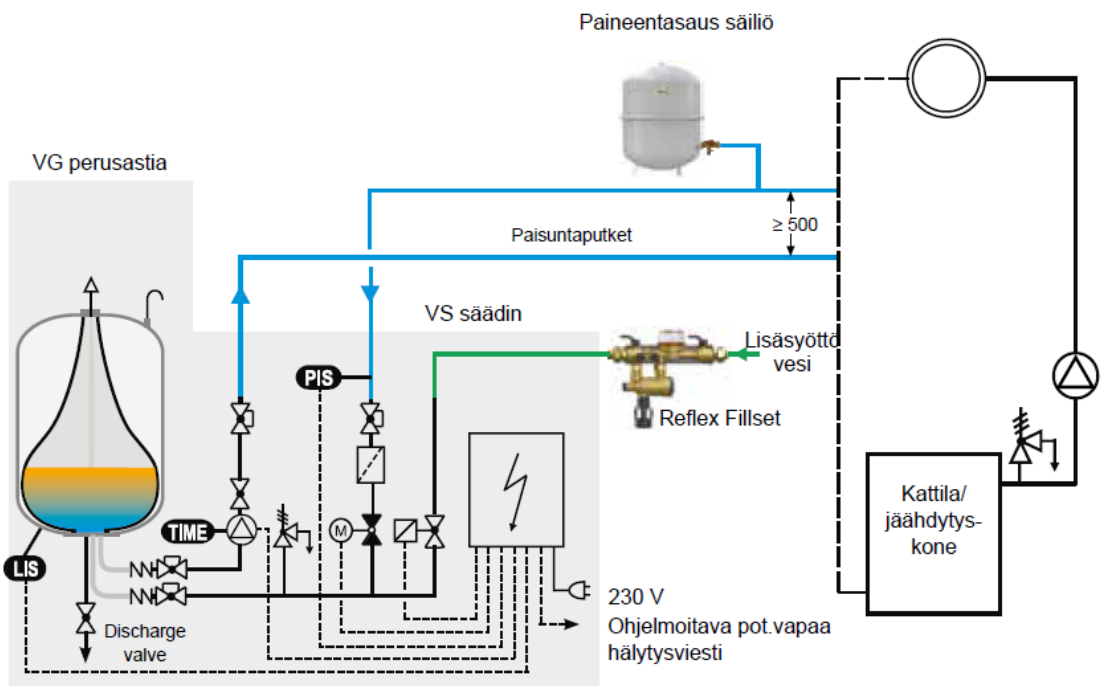


Kuva 4. Kompressoriohjattu paisuntayksikkö [3, s. 6].

Järjestelmän ollessa kylmä on paisunta-astiassa pieni määrä vettä. Lämmitysjärjestelmän lämmitessä järjestelmän paine kasvaa, jolloin tarvitaan enemmän paisuntatilavuutta. Paisuntayksikkö mittaa järjestelmän painetta, ja kun paine kasvaa yli asetetun arvon, päästää magneettiventtiili ilmaa ulos, kunnes saavuttaa asetetun tavoitearvon. Järjestelmän jälleen jäähtyessä paine pienenee, jolloin kompressorin lisää ilmapuolen painetta, jotta saadaan paine pidettyä asetusarvoissa. [6, s. 51.]

## 2.2.2 Pumppuhjattu paisunta-astia

Pumppuhjattu paisunta-astia on toinen vaihtoehto suurempiin järjestelmiin, joissa paisuntatilavuutta tarvitaan paljon. Pumppuhjatussa paisuntayksikössä on paineeton vesisäiliö, joka on kuitenkin erotettu ilmasta kumikalvon avulla [7, s. 41.]. Kuvassa 5 on esitetty Reflex Variomatin toimintaperiaate.



Kuva 5. Variomat paineenpitojärjestelmän toimintaperiaate [7, s. 42].

Järjestelmän ollessa minimilämpötilassa vesisäiliössä on vain vähän vettä. Lämpötilan noustessa järjestelmässä paine ja veden tilavuus kasvaa, ja ylivuotoventtiili avautuu päästäen veden virtaamaan säiliöön. Järjestelmän paineen jälleen laskiessa veden

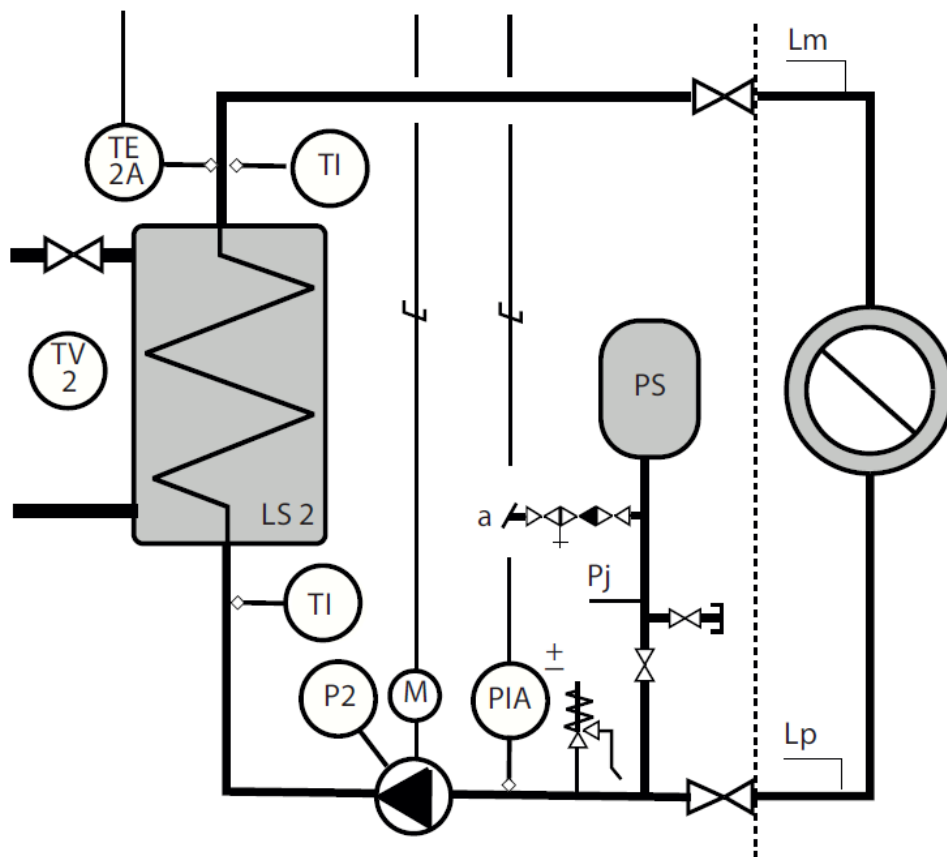
jäähtymisen vuoksi käynnistyy pumppu, joka pumppaa säiliöstä vettä takaisin verkostoon painekeytkimeen asetettuun rajaan asti. Säiliössä veden tason laskiessa liian alas avautuu lisävedensyöttöventtiili, jolloin saadaan korjattua vajoaus järjestelmässä. [3, s. 7.]

### 3 Kalvopaisunta-astiat

Suljetussa verkostossa käytetään yleisesti kumikalvolla varustettua teräksistä kalvopaisunta-astiaa, jossa kumikalvo erottaa kaasun ja veden toisistaan. Paisunta-astiat toimittetaan tehtaalta niin, että kaasupuolelle on lisätty esipaine tyypellä. [2, s. 77.] Paisunta-astioiden koot ilmoitetaan litroina, esimerkiksi 18, 25, 35, 50 litraa jne. Niiden ominaisuudet kuten liitoskoko, esipaine ja rakennepainne kasvavat sitä suuremmiksi, mitä suurempi astian nimellistilavuus on. [8, s. 20–21.]

#### 3.1 Sijainti ja kytkentä

Kalvopaisunta-astia sijaitsee yleensä lämmönjakokeskuksessa. Asennuspaikka on huomattavasti juostavampi kuin avoimen järjestelmän paisunta-astioilla. Tilan on oltava kuitenkin lämmitetty niin, ettei jäätymisvaaraa ole. Asennus asento tulisi olla niin päin, että vesiyhde olisi ylöspäin, jolloin astiassa vesi puolella oleva ilma pääsee poistumaan. [2, s. 77.] Lämmitysverkostoon kalvopaisunta-astia kytketään pumpun imupuolelle (kuva 6), jolla kasvatetaan kalvopaisunta-astian hyötysuhdetta. [3, s. 2–3.]



Kuva 6. Paisunta-astian sijoitus suljetussa lämmitysverkostossa [3, s. 3].

Paisuntaputkeen on suositeltavaa asentaa sulkuventtiili ja tyhjennysventtiili, jotta astian esipainetta tarkistettaessa ei tarvitse tiputtaa koko verkoston paineita alas. Kalvopaisunta-astian verkostosta erottavan sulkuventtiilin kahva on irrotettava ja kiinnitettävä venttiilin lähelle. Tällä pyritään estämään, ettei paisunta-astiaa virheellisesti suljettaisi käytöstä. [9, s. 27–28.]

Paisunta-astian esipainetta suositellaan tarkastettavaksi kerran vuodessa. Huollon yhteydessä paisunta-astian vesipuoli on saatava paineettomaksi, jotta voidaan tarkistaa paisunta-astian esipaine ja tarvittaessa kasvattaa sitä paineilmalla tai tyypellä. [10.]

### 3.2 Rakenne

Pienemmän kokoluokan paisunta-astiat muodostuvat kahdesta teräksisestä epoksinnoitetusta osasta. Puolikkaat voivat olla kiinni hitsatut, jolloin kumikalvon vaihtoa ei ole tehty mahdolliseksi. Flamcon valmistamissa flexcon paisunta-astioissa puolikkaat on yhdistetty vanteella, joka samalla toimii kumikalvon kiinnityksenä. Flexconin rakenne on nähtävissä kuvassa 7. [11, s. 21.]



Kuva 7. Flexcon kalvopaisunta-astian rakenne [11, s. 21].

Valmistajilla on tarjolla erilaisilla rakenteellisilla ratkaisuilla olevia paisunta-astioita, joissa osassa on kalvon vaihtaminen tehty mahdolliseksi. Esimerkiksi Reflexillä on kalvopaisunta-astioita, joihin on vaihdettavissa kalvo, mutta N-sarja on tehty niin, ettei kalvoa voi vaihtaa. Mallin mukaan vesi- ja ilmayhteet voivat sijaita eri paikoissa. [12, s. 8.]

Flexcon paisunta-astioissa on käytetty butyylikumista valmistettua kalvoa, jolla on erittäin hyvä kyky estää kaasun pääsemisen kalvon läpi. Käyttöikä on myös nostettu

käyttämällä kumikalvoa, joka rullaa paineen muuttuessa ylös ja alas. Näin ollen kalvo ei pääse venymään, mikä pidentää sen käyttöikä. [11, s. 19.]

## 4 Paisunta-astian mitoitus

Paisunta-astian mitoitukseen on ohjeita monilta eri tahoilta. Seuraavaksi käydään läpi lähtötietojen määrittystä, painetasojen valintaa sekä laskentaa standardiin, LVI-korttiin ja Flamcon ohjeisiin perustuen. Kaavoissa käytetyt paineet ovat absoluuttisia paineita.

### 4.1 Järjestelmän lähtötiedot

Hyvin toimivan paisunta-astian mitoittaminen vaatii hyvät lähtötiedot järjestelmästä. Uudiskohteita suunniteltaessa saadaan hyvinkin tarkka tieto järjestelmän vesitilavuudesta suunnitteluohjelmistoista. Saneerauskohteissa kuitenkin vesitilavuutta joudutaan monesti arvioimaan kaavalla 1 [3, s. 5].

$$V_o = k_2 \emptyset \quad (1)$$

$V_o$  on järjestelmän vesitilavuus,  $\text{dm}^3$

$\emptyset$  on lämmitysteho, kW

$k_2$  on järjestelmän vesitilavuuskerroin

Järjestelmän tilavuuskertoimelle  $k_2$ , on kokemusperäisiä arvoja taulukossa 1.

Taulukko 1. Järjestelmän vesitilavuuskerroin [3, s. 5].

Järjestelmä	Kerroin ( $\text{dm}^3/\text{kW}$ )
ilmanvaihtoverkosto	4...5
lämmitysverkosto (kattilalaitos)	13...14
lämmitysverkosto (kaukolämpö)	9...12
turvallinen arvo (lämmitys)	15

Tarkemmin verkoston vesitilavuutta voidaan laskea liitteen 1 taulukoilla, kun tiedetään verkoston putkipituuksia. Lämmityspattereiden vesitilavuudet saadaan yleensä



valmistajilta, mutta nekin ovat arvioitavissa kaavalla 2. Kaavassa vesitilavuuskerroin radiaattoreille on 7 dm<sup>3</sup>/kW ja konvektoreille 5 dm<sup>3</sup>/kW. [3, s. 5.]

$$V_p = k_1 \varnothing_p \quad (2)$$

$V_p$  on pattereiden vesitilavuus, dm<sup>3</sup>

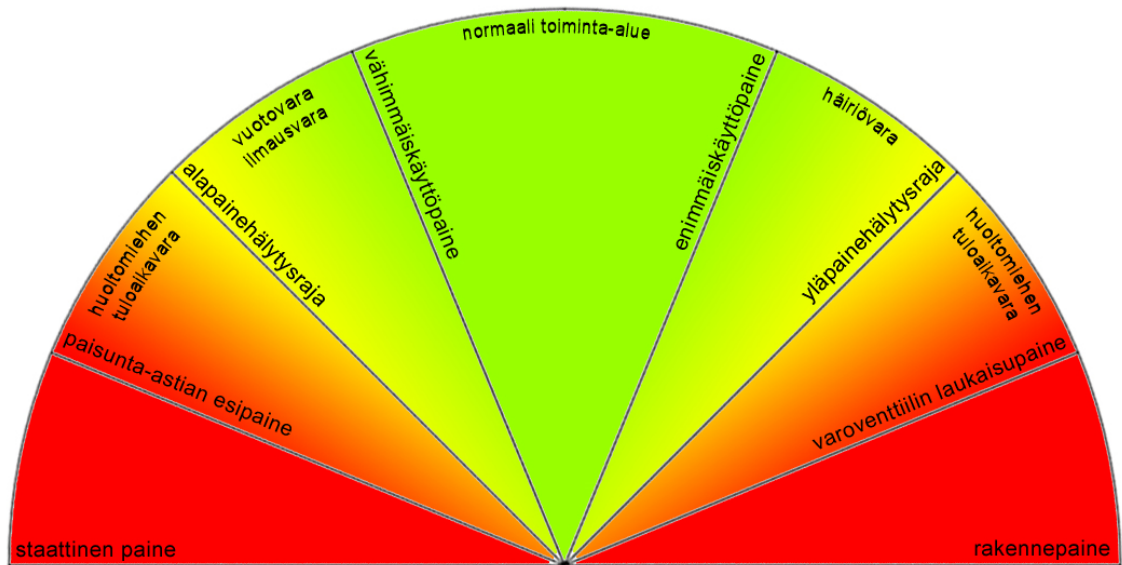
$\varnothing_p$  on pattereiden yhteenlaskettu teho, kW

$k_1$  on pattereiden vesitilavuuskerroin

Paisunta-astian ja järjestelmän korkeimman kohdan korkeusero tarvitaan tarvittavan esipaineen määrittämiseksi. Toiminta lämpötilat on tiedettävät myös, jotta voidaan määrittää veden lämpölaajeneminen verkostossa. Järjestelmässä voi myös olla eri lämpötiloissa toimivia alijärjestelmiä, jotka voidaan laskea erikseen. Näin ollen koko vesitilavuuden kasvua ei tarvitse laskea suurimman lämpötilatason mukaan. [8, s. 13.]

#### 4.2 Painetasot

Painetasot määräytyvät järjestelmän ominaisuuksien mukaan. Painetasojen määrittämiseen on muutamia eri tapoja. Kuvassa 8 ovat nähtävissä LVI-kortin mukaisesti nimetyt painetasot.



Kuva 8. Suljetun lämmitysjärjestelmän painetasot.

Suurin sallittu paine määräytyy järjestelmän heikoimman rakennepaineen omaavan laitteen mukaan. Tämän mukaan määritetään myös varoventtiilin avautumispaine, joka voi olla korkeintaan yhtä suuri kuin suurin sallittu paine. Varoventtiilin tehtävänä on suojella järjestelmää ylipaineelta päästämällä vettä pois järjestelmästä paineen noustessa varoventtiilin avautumispaineeseen. [3, s. 3.]

Järjestelmään voidaan määrittää myös ylä- ja alarajahälytykset. Yläpainehälytysrajan ollessa pienempi kuin varoventtiilin laukeamispaine, annetaan huoltomiehelle tuloaikavara tarkistamaan järjestelmän poikkeava painetaso. Huoltomiehelle annetaan tuloaikavara myös asettamalla alapainehälytyksen raja korkeammaksi kuin paisunta-astian esipaine. [3, s. 1–3.]

Suunniteltaessa paisunta-astian toiminta rajoja asetetaan sille mitoituksessa verkoston vähimmäis- ja enimmäiskäyttöpainerajat. Normaalisissa käytössä suositeltava käyttöpainealueen tulisi olla 100–200 kPa. Suurella käyttöpainealueella saatetaan kuormittaa vanhaa putkistoa suuren painevaihtelun vuoksi. Liian pieni käyttöpainealue on virheeltis mitoitaa mittavirheiden vuoksi. [3, s. 2.]

Vähimmäiskäyttöpaine määritetään suuremmaksi kuin paisunta-astian esipaine. Tällä pyritään estämään putkiston alipaineen muodostumista, joka voi aiheuttaa esimerkiksi

automaattisten ilmanpoistimien toimimisen epätoivotulla tavalla päästään ilmaa verkostoon päin, mikä taas aiheuttaa korroosiota verkostossa. [3, s. 3.]

Esipaine määritetään järjestelmän staattisen korkeuden avulla. Esipaineen ollessa hieman suurempi kuin staattisen korkeuden vaatima paine varmistutaan siitä, että verkoston ylimmässäkin kohdassa on vielä painetta verkoston minimipaineessa. Korkean lämpötilan järjestelmissä on huomioitava myös höyrynpaineen vaikutus. [13, s. 40.] Paisunta-astian sijainti verkostossa vaikuttaa myös paisunta-astian mitoitukseen. Kun alemmalle tasolle mitoitettu paisunta-astia siirretään järjestelmässä ylemmäksi, voidaan pienentää paisunta-astian esipainetta. Tällöin paisuntatilavuus kasvaa kyseisessä paisunta-astiassa, jonka seurauksena olisi mahdollisesti voitu valita pienempi paisunta-astia. [14, s. 42.]

#### 4.3 SFS-EN 12828

Rakennusten vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien suunnitteluun perehtyvä standardi SFS-EN 12828 + A1 sisältää ohjeistuksen paisunta-astian mitoitukseen. Standardi on vahvistettu Suomessa kansalliseksi standardiksi, mutta siitä on saatavilla vain englanninkielinen versio. Standardin mukaisesti tarvittava paisuntatilavuus lasketaan kaavalla 3.

$$V_{ex} = V_{system} \times e \quad (3)$$

$V_{ex}$  on paisuntatilavuus,  $\text{dm}^3$

$V_{system}$  on lämmitysjärjestelmän vesitilavuus,  $\text{dm}^3$

$e$  on nesteen lämpölaajenemiskerroin

Lämmitysjärjestelmän vesitilavuuden laskenta esitetty kaavassa 4.1. Nesteen lämpölaajenemiskerroin lasketaan kaavalla 4.

$$e = 1 - \frac{\rho_{max}}{\rho_{min}} \quad (4)$$

$\rho_{\max}$  on nesteen tiheys korkeimmassa toiminta lämpötilassa,  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{\min}$  on nesteen tiheys matalimmassa toiminta lämpötilassa,  $\text{kg/m}^3$

Nesteen lämpölaajenemiskertoimen laskeminen perustuu tiheyden muutokseen lämpötilan muuttuessa [13, s. 42]. Veden ominaisuuksia eri lämpötilassa esitetään liitteen 2 taulukossa. Järjestelmän painetasoja määritetään taulukon 2 mukaan.

Taulukko 2. Painetasojen määrittäminen standardin mukaan.

vähimmäiskäyttöpaine	=	staattinen korkeusero + 50 kPa
paisunta-astian esipaine	=	staattinen korkeusero + 20 kPa

Järjestelmässä voi ilmetä myös pieniä vuotoja ja paisunta-astian vuotovaratilalla pyritään antamaan sille pieni vesivaranto, jottei paine romahda heti pienen vuodon alkaessa. Paisunta-astian, jonka nimellistilavuus on enintään 15 litraa, tulisi sisältää vähintään 20 prosenttia paisunta-astian nimellistilavuudesta vuotovaratilavuutta. Yli 15 litran paisunta-astioiden vuotovaratilavuus tulisi olla vähintään 0,5 prosenttia koko järjestelmän vesitilavuudesta, kuitenkin vähintään 3 litraa. Paisunta-astian vähimmäistilavuus lasketaan kaavalla 5. [13, s. 42.]

$$V_{N,\min} = (V_{ex} + V_{wr,\min}) \times \frac{p_{fin}^{+1}}{p_{fin} - p_0} \quad (5)$$

$V_{N,\min}$  on paisunta-astian nimellinen vähimmäistilavuus,  $\text{dm}^3$

$V_{wr,\min}$  on vähimmäis- vuotovaratilavuus,  $\text{dm}^3$

$p_{fin}$  on ylin käyttöpaine, bar

$p_0$  on paisunta-astian esipaine, bar

Paisunta-astian kooksi valitaan yhtä suuri tai suurempi kuin nimellinen vähimmäistilavuus on. Tarvittava paisunta-astian tilavuus voidaan jakaa useammalle paisunta-astialle. [13, s. 42–43.] Tämän jälkeen lasketaan vielä järjestelmän vähimmäiskäyttöpaine kaavalla 6.

$$p_{ini} = \frac{p_{fin}^{+1}}{1 + \frac{V_{ex}}{V_N} \times \frac{p_{fin}^{+1}}{p_0^{+1}}} - 1 \quad (6)$$

$p_{ini}$  on alin käyttöpaine, bar

$V_N$  on paisunta-astian nimellistilavuus, dm<sup>3</sup>

Alimman käyttöpaineen on oltava 0,3 baaria suurempi kuin esipaine. Jos edellä mainittu ehto ei täyty, lisätään paisuntatilavuutta. Standardissa esitetään viimeiseksi kaava 7, jolla voidaan laskea täyttöpaine, jos järjestelmä täytetään erilämpöisellä nesteellä kuin normaalisti alimmassa käyttöpaineessa. [13, s. 43.]

$$p_{fil} = V_N \times \frac{p_0 + 1}{V_N - V_{System} \times \left(1 - \frac{\rho_{fil}}{\rho_{min}}\right) - V_{Wr}} - 1 \quad (7)$$

$p_{fil}$  on täyttöpaine, bar

$\rho_{fil}$  on täyttönesteen tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$V_{Wr}$  on vuotovaratilavuus, dm<sup>3</sup>

#### 4.4 LVI 11-10472 $p_{rak} \geq 300$ kPa

LVI 11-10472 käsittelee paisuntajärjestelmän valintaa ja mitoitusta. Viimeisin päivitys ohjeisiin on tullut 2011 vuonna. Edellinen ohjekortti oli vuodelta 2001, johon muutoksena tuli muun muassa, että mitoituksessa käytetään järjestelmän enimmäislämpötilaa keskilämpötilan sijasta. Paisunta-astian vuotovaratilavuutta ei myöskään ollut vanhemmassa versiossa huomioitu lainkaan. Ohjeistusta lisätty muutenkin, koska sivumäärä lisääntynyt kuudesta kahteentoista. [3; 15.] Painetasojen määrittämisessä tulisi käyttää taulukon 3 ehtoja.

Taulukko 3. Painetasojen määrittäminen.

rakennepaine	$\geq$	varoventtiilin laukaisupaine
yläpainehälytysraja	=	varoventtiilin laukaisupaine -20 kPa
enimmäiskäyttöpaine	=	varoventtiilin laukaisupaine -50 kPa
vähimmäiskäyttöpaine	=	paisunta-astian esipaine +50 kPa
alapainehälytysraja	=	paisunta-astian esipaine +20 kPa
paisunta-astian esipaine	=	staattinen korkeusero +1...10 kPa

Suljettujen paisuntajärjestelmien mitoitus on jaettu kahteen osioon suurimman sallitun paineen mukaan: yli 300 kPa sekä 150 kPa (pientalot). Korkeamman paineen mitoituslaskelmat koostuvat viidestä eri laskentavaiheesta. Ensimmäisenä määritetään kalvopaisunta-astian bruttonestetilavuus kaavalla 8.

$$H_{brutto} = 1 - P_e/P_{max} \quad (8)$$

$H_{brutto}$  on bruttonestetilavuus, suhdeluku

$P_e$  on absoluuttinen esipaine, kPa

$P_{max}$  on absoluuttinen enimmäiskäyttöpaine, kPa

Paisunta-astialle varataan häiriöitä ja vuotoja varten nestetilavuus. Se lasketaan kaavalla 9.

$$H_{vara} = 1 - P_e/P_{min} \quad (9)$$

$H_{vara}$  on vuotovaratilavuus, suhdeluku

$P_{min}$  on absoluuttinen vähimmäiskäyttöpaine, kPa

Vähentämällä edellä lasketut toisistaan saadaan paisunta-astian nettonestetilavuus, kaava 10.

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} \quad (10)$$

$H_{netto}$  on nettonestetilavuus, suhdeluku

Kaavalla 11 saadaan paisunta-astian mitoituskerroin.

$$K_{mit} = 1/H_{netto} \quad (11)$$

$K_{mit}$  on paisunta-astian mitoituskerroin

Edellisillä kaavoilla laskettu  $K_{mit}$  voidaan myös valita taulukosta 4.

Taulukko 4. Kalvopaisunta-astian mitoituserroin [3, s. 3].

Esipaine kPa	Varoventtiin avautumispaine kPa					
	300	350	400	450	500	600
50	3,11	2,67				
60	3,28	2,76				
70	3,48	2,88	2,53			
80	3,73	3,01	2,61			
90	4,02	3,16	2,71			
100	4,38	3,33	2,81	2,5		
110	4,81	3,54	2,93	2,58		
120	5,37	3,78	3,07	2,67		
130	6,09	4,06	3,22	2,77		
140	7,05	4,39	3,4	2,88	2,56	
150	8,4	4,8	3,6	3	2,64	
160		5,3	3,63	3,14	2,73	
170		5,93	4,1	3,29	2,83	
180		6,73	4,42	3,47	2,95	
190		7,82	4,48	3,66	3,07	
200		9,33	5,25	3,89	3,21	2,57
210			5,81	4,15	3,36	2,65
220			6,5	4,45	3,53	2,74
230			7,4	4,48	3,73	2,83
240			8,6	5,21	3,94	2,94
250			10,29	5,71	4,19	3,05
260				6,33	4,47	3,17
270				7,09	4,8	3,3
280				8,08	5,19	3,45
290				9,4	5,64	3,61
300					6,19	3,79
310					6,86	3,99
320					7,69	4,21
330					8,77	4,47
340					10,21	4,75
350						5,08
360						5,46
370						5,9
380						6,42
390						7,05
400						7,82
410						8,78
420						10,02

Kalvopaisunta-astian tilavuus saadaan laskemalla kaavalla 12.

$$V = a \times K_{mit} \times V_o \quad (12)$$

a on nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

Laskelmissa tulee käyttää mitoitustilana järjestelmän enimmäislämpötilaa. Esimerkiksi lämmitysverkostossa, jonka menovesi mitoitetaan 70 °C:ksi, käytetään 70 °C:ta mitoitustilana. Mitoitustilana vaikuttaa valittavaan lämpölaajenemiskertoimeen, joka on valittavissa taulukosta 5. [3, s. 3–4.]

Taulukko 5. Lämpölaajenemiskerroin vedelle [3, s. 3–4].

°C	%
10	0,04
20	0,18
30	0,44
40	0,79
50	1,21
60	1,71
70	2,28
80	2,96
85	3,21
90	3,59
95	3,94
100	4,35
105	4,74
107	4,99
110	5,15
120	6,06
130	6,94

Taulukon vasemmanpuoleisesta sarakkeesta haetaan valittu mitoitustilana, jonka oikealta puolelta luetaan lämpölaajenemiskerroin.



4.5 LVI 11-10472  $p_{rak}$  150 kPa

Pientalojen kalvopaisunta-astioiden mitoituksessa käytetään osittain samoja kaavoja kuin korkeamman rakennepaineen järjestelmissä. Laskenta suoritetaan kaavoilla 7–10 ja kaavalla 13.

$$V = a_{150} \times K_{mit150} \times V_o \quad (13)$$

$V$  on kalvopaisunta-astian tilavuus,  $dm^3$

$a_{150}$  on nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

$K_{mit150}$  on mitoituskerroin

$V_o$  on järjestelmän vesitilavuus,  $dm^3$

Nesteen lämpölaajenemiskertoimen määrittäminen poikkeaa korkeamman rakennepaineen mitoistavasta. Veden lämmittimen toiminnan ollessa termostaattiohjattua ja polttoaineen syöttö automatisoitu valitaan lämpölaajenemiskertoimeksi 3 %. Täysin varaavassa järjestelmässä, kuten puukattilajärjestelmä, valitaan lämpölaajenemiskertoimeksi 5 %. Kertoimen on oltava suurempi, koska veden lämpötila saattaa vaihdella huoneenlämpöisestä aina kiehuvaan kuumaksi asti. Mitoituskerroin  $K_{mit150}$  voidaan laskea samaan tapaan kuin luvussa 4.4 on esitetty, mutta myös valita taulukosta 6 esipaineen ja vähimmäiskäyttöpaineen avulla. [3, s. 9.]

Taulukko 6. Paisunta-astian mitoituskerroin  $K_{mit150}$  [6, s. 9].

esipaine	vähimmäiskäyttöpaine		
	$p_e + 10$ kPa	$p_e + 20$ kPa	$p_e + 30$ kPa
kPa	kPa	kPa	kPa
50	3,2	3,89	4,8
60	3,64	4,5	5,7
70	4,24	5,36	7,06
80	5,07	6,67	9,33
90	6,32	8,84	13,89
100	8,4	13,2	27,6
110	12,57	26,29	
120	25,09		

Mitoituksessa käytettävät painetasot määräytyvät hyvin pitkälti samoin kuin yli 3 kPa:n järjestelmissä. Rakennepaineen ollessa suurempi kuin 3 kPa asetettiin myös hälytysrajat, mutta tämä ohjeistus on jätetty pois pientalojen mitoituksesta. Vähimmäiskäyttöpaineeksi valitaan 10–30 kPa suurempi paine kuin esipaine ja enimmäiskäyttöpaineeksi valitaan 10 kPa pienempi paine kuin varoventtiilin laukaisupaine. Esipaineeksi valitaan verkoston staattista korkeutta vastaava paine. [3, s. 9.]

#### 4.6 Flamco

Flamco on mm. paisunta-astioita valmistava kansainvälinen yritys. Yrityksen materiaaleihin kuuluu myös paisunta-astian mitoitusohjeistus. Mitoituslämpötilana käytetään järjestelmän keskilämpötilaa, menopaluuun keskiarvo [11, s. 26]. Nesteen laajentumiskerroin valitaan taulukosta 7 tai lasketaan veden tiheyden muutoksesta kaavalla 3.

Taulukko 7. Veden tilavuuden kasvu eri lämpötilamuutoksilla [8, s. 14].

Lämpötilan nousu °C	Tilavuuden kasvu %
4–5	0
4–10	0,03
4–15	0,09
4–20	0,18
4–25	0,29
4–30	0,43
4–35	0,59
4–40	0,78
4–45	0,98
4–50	1,19
4–55	1,43
4–60	1,68
4–65	1,94
4–70	2,22
4–75	2,51
4–80	2,82
4–85	3,14
4–90	3,47
4–95	3,81
4–100	4,16
4–105	4,53

Laskenta etenee samaan tapaan kuin aiemmin esitetyillä mitoitusavoilla määrittämällä ensimmäiseksi tarvittava paisuntatilavuus järjestelmän vesitilavuuden ja lämpölaajenemiskertoimen avulla. Vuotovaratilavuuden määrittäminen vastaa standardin tapaa lukuun ottamatta sitä, että vähimmäisvaratilavuuden tulisi olla 6 dm<sup>3</sup> tai enemmän. [8, s. 13.]

Järjestelmälle asetetuilla maksimipaineen ja esipaineen absoluuttisilla arvoilla voidaan laskea kalvopaisunta-astian hyötysuhde kaavalla 14, jossa esipainetta pidetään alkupaineena ja loppupainetta järjestelmän maksimipaineena.

$$\text{hyötysuhde} = \frac{\text{loppupaine} - \text{alkupaine}}{\text{loppupaine}} \quad (14)$$

Esimerkiksi alle 800 litran flexcon -paisunta-astioille Flamco suosittelee hyötysuhteen olevan alle 0,63. Liian suuren hyötysuhteen olevan paisunta-astian kalvoon saattaa kohdistua jännitystä, joka voi aiheuttaa kalvon rikkoontumisen. [8, s. 14.] Kaavalla 15 lasketaan kalvopaisunta-astian vähimmäistilavuus.

$$\text{paisunta} - \text{astian tilavuus} = \frac{\text{paisuntatilavuus}}{\text{hyötysuhde}} \quad (15)$$

Samaan tapaan kuin standardissa ja LVI-kortissa Flamcolla on omat painetasojen määrittelytavat (taulukko 8).

Taulukko 8. Painetasojen määrittely.

enimmäiskäyttöpaine	=	varoventtiilin laukaisupaine x 0,9
vähimmäistäyttöpaine	≥	paisunta-astian esipaine + 0,3 bar
paisunta-astian esipaine	=	staattinen korkeus + 0,2 bar pyöristettynä ylöspäin 0,5 bar tarkkuudelle

Eroavaisuutta edellisiin määrittelytapoihin tuo esipaineen määrittely, joka pyöristetään 0,5 baarin tarkkuudella ylöspäin. Tietyissä paineissa tämä voi johtaa selkeästi suurempaan esipaineeseen kuin edellisillä määrittelytapoilla.

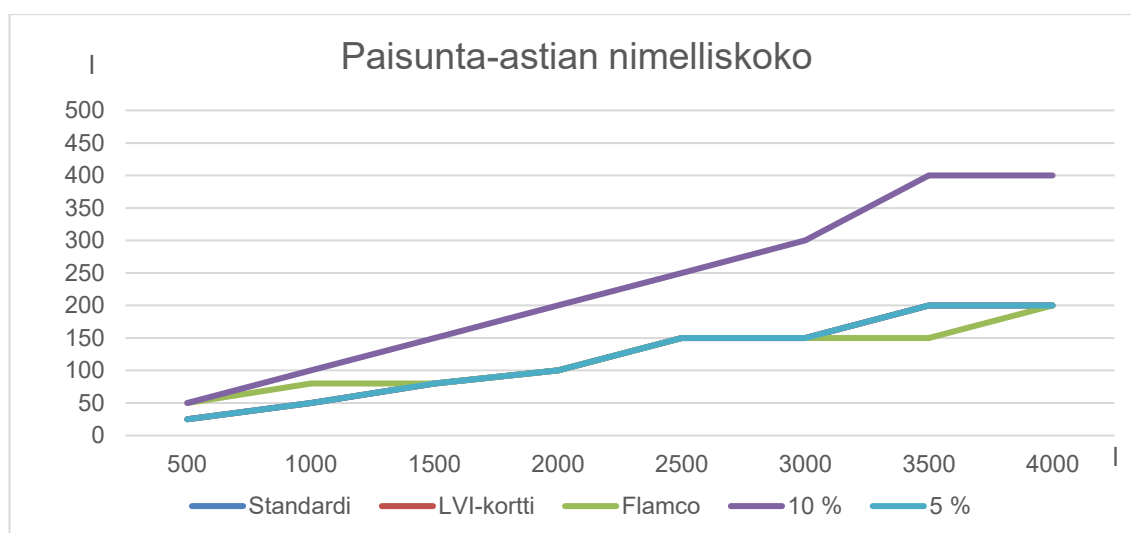
#### 4.7 Prosenttiosuus

Paisunta-astian tilavuutta voidaan karkeasti arvioida myös tietyllä prosenttiosuudella järjestelmän kokovesinaistilavuudesta. Harjun Lämmitystekniikan oppikirjassa mainitaan nyrkkisääntö, jonka mukaan 10 % kokonaisvesitilavuudesta olisi riittävä paisuntatilavuus. [2, s. 77.]

Paisunta-astioita valmistavan Reflexin tuoteluettelossa suositellaan paisuntatilavuuden määrittämiseksi 5 % kokonaisvesitilavuudesta [12, s. 3]. Prosenttiosuudella mitoittaessa ei huomioida lainkaan, missä lämpötiloissa ja painerajoissa järjestelmä toimii. Tämän takia mitoitus voi ajaa erittäin huonosti toimivaan paisuntajärjestelmään.

### 5 Vertailu

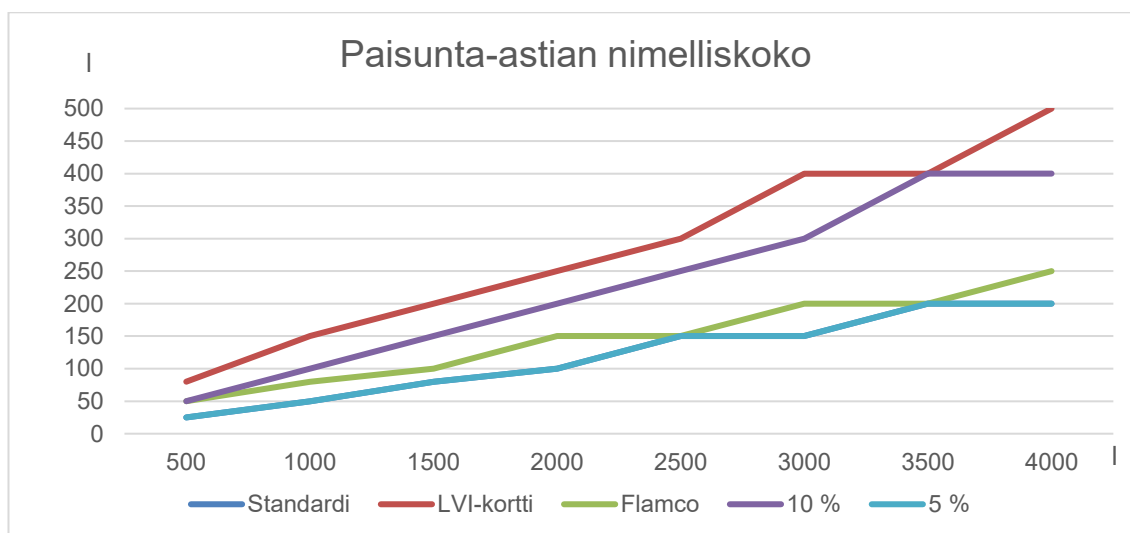
Mitoitustavasta riippumatta päästään jokaisella laskentatavalla melko samanlaisiin lopputuloksiin, jos laskennassa otetaan huomioon ainoastaan esipaineen määrittäminen, lukuun ottamatta 10 prosentin mitoitusapua. Kuvassa 9 on nähtävissä paisunta-astian koon muuttuminen vesitilavuuteen nähden eri mitoitusavoilla, kun laskelmissa käytetty jokaisen mitoitusavon kohdalla sen omaa esipaineen määrittäystä. Laskennassa staattinen korkeusero on 10 metriä, varoventtiili 3 baaria ja mitoituslämpötila 70–40 °C.



Kuva 9. Paisunta-astian koon muuttuminen vesitilavuuteen nähden.

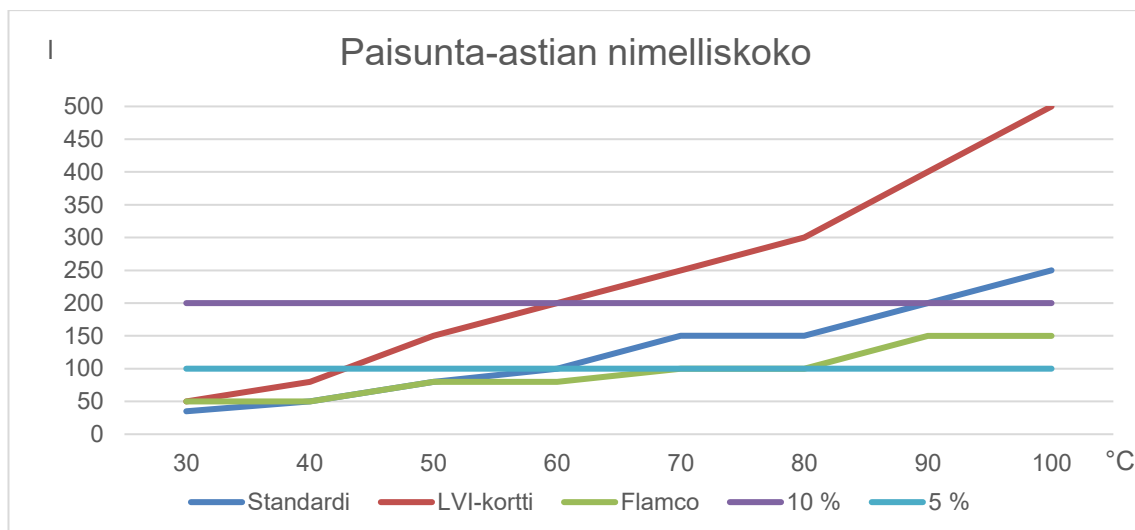
Standardin ja LVI-kortin mitoituksilla päästiin täsmälleen samoihin paisunta-astian kokoihin. Paisunta-astian tilavuuden määrittämiseksi käytettäessä 5 prosentin mitoitus tapaa saadaan samanlaisia tuloksia kuin kaavoilla laskettuna. 10 prosenttia antaa suuremmissa vesitilavuuksissa selvästi suuremman paisuntatilaavuuden muihin verrattuna.

Eroavaisuuksia alkaa tullemaan mitoitukseen, kun siihen lisätään vähimmäis- ja enimmäiskäyttöpainerajat. LVI-kortin mitoitus tavalla saadaan huomattavasti suurempia kokoja paisunta-astioille kuin Standardin ja Flamcon mitoitus tavalla. Kuvassa 10 nähtävissä paisunta-astian nimelliskoon kasvaminen, kun vesitilavuus kasvaa ja käytössä on enimmäis- ja vähimmäiskäyttöpaineet jokaisen mitoitus tavan omalla määritystavalla. Laskennassa staattinen korkeusero on 10 metriä, varoventtiili 3 baaria ja mitoitus lämpötila 70–40 °C.



Kuva 10. Paisunta-astian koon muuttuminen vesitilavuuteen nähden.

Standardin, Flamcon ja 5 prosentin mitoitus tavoilla päästään melko samoihin lopputuloksiin. LVI-kortin ja 10 prosentin mitoituksilla saadaan selvästi suurempia paisunta-astian kokoja. Kuvasta 11 on nähtävissä paisunta-astian kasvun vesitilavuuden pysyessä 2 000 litrassa, mutta enimmäislämpötilan noustessa 10 asteen nousuilla. Minimilämpötila laskennassa käytetty 20 °C ja varoventtiili 3 baaria.



Kuva 11. Paisunta-astian koon muuttuminen verkoston enimmäislämpötilan kasvaessa.

LVI-kortin mitoituksella saadaan edelleen huomattavasti suurempia lopputuloksia kuin muilla mitoitus tavoilla. Prosenttimitoituksilla saadaan täysin suoraviiva, kun vesitilavuus pysyy samana, jolloin lämpötilatasojen muuttumista ei huomioida lainkaan.

## 6 Kalvopaisunta-astian mitoitus työkalu

Tässä työssä luotiin Excel-pohjainen kalvopaisunta-astian mitoitus työkalu, jolla voidaan mitoittaa paisunta-astia sekä verrata eri mitoitus tapojen tuloksia. Liitteessä 3 on kuva-kaappaus mitoitus työkalusta.

Laskentaan voidaan syöttää kolmella eri lämpötilatasolla toimivaa järjestelmää, joiden vesitilat ovat kuitenkin yhteydessä toisiinsa. Mitoitus tapoja on lisätty aiemmin esitetyistä tavoista standardi, LVI-kortti sekä Flamcon. Painetasot lasketaan automaattisesti jokaisen omalla mitoitus tavalla, mutta paine-erot on mahdollista itse asettaa. Yläpainehälytyksen raja, enimmäiskäyttöpaine, vähimmäiskäyttöpaine sekä alapainehälytyksen raja on mahdollista ottaa pois laskennasta.

Laskennallisesti sopivalle paisunta-astialle lasketaan vuoto varatilavuus paineen ollessa vähimmäiskäyttöpaineessa, eli kuinka paljon vuotoa voi vielä tapahtua, ennen kuin paine laskee esipaineeseen ja järjestelmän mukaan jopa nolnaan. Valitulle paisunta-astialle

lasketaan myös hyötysuhde. Laskentatyökalu muokkaa myös vähimmäis- ja enimmäiskäyttöpainetta valitun paisunta-astian tarvittavan paisuntatilavuuden mukaan. Valittavana on myös nimelliskokoa suurempi paisunta-astia, jos laskennassa vuotovaratilavuus jää pieneksi tai hyötysuhde kasvaa liian suureksi.

Lopuksi valitaan tulosteeseen tuleva mitoitus tapa sekä käytettävä paineenyksikkö, joko bar tai kPa. Excelistä voidaan suoraan tulostaa kuvan 12 mukainen huoltotarra paisunta-astian kylkeen liimattavaksi.

Paisunta-astian huoltotarra	
Asennettu _____	
Varoventtiili	1,5 bar
Esipaine	0,5 bar
Ylärajahälytys bar	Ylin käyttöpaine 1,4 bar
Alarajahälytys bar	Alin käyttöpaine 0,6 bar
Esipaine tarkastettu	
Esipaine	pvm

Kuva 12. Paisunta-astian huoltotarra.

Paisunta-astian asennuksen yhteydessä merkitään asennuspäivämäärä ja huollon yhteydessä päivämäärä sekä tarkastettu esipaine.

## 7 Esimerkkikohte

Esimerkkikohteeksi valikoitui rakenteilla oleva asuinkerrostalo. Talossa on yhdeksän asuinkerrosta sekä ilmastointikonehuone vesikattokerroksessa. Tekninen tila sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa. Kohteen julkisivupiirustus on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Asuinkerrostalon julkisivupiirustus.



Asuinkerrostalo päälämmönlähteenä toimii maalämpö ja päälämmönjakotapa on lattialämmitys. Porrashuoneen sekä väestönsuojan lämmönjako hoidetaan vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Ilmanvaihto toteutetaan keskitetyllä ilmanvaihdolla, joten kolmas erillinen lämmityspiiri on ilmanvaihdon lämmitysverkosto. Jokainen verkosto toimii eri lämpötilatasoilla taulukon 9 mukaan.

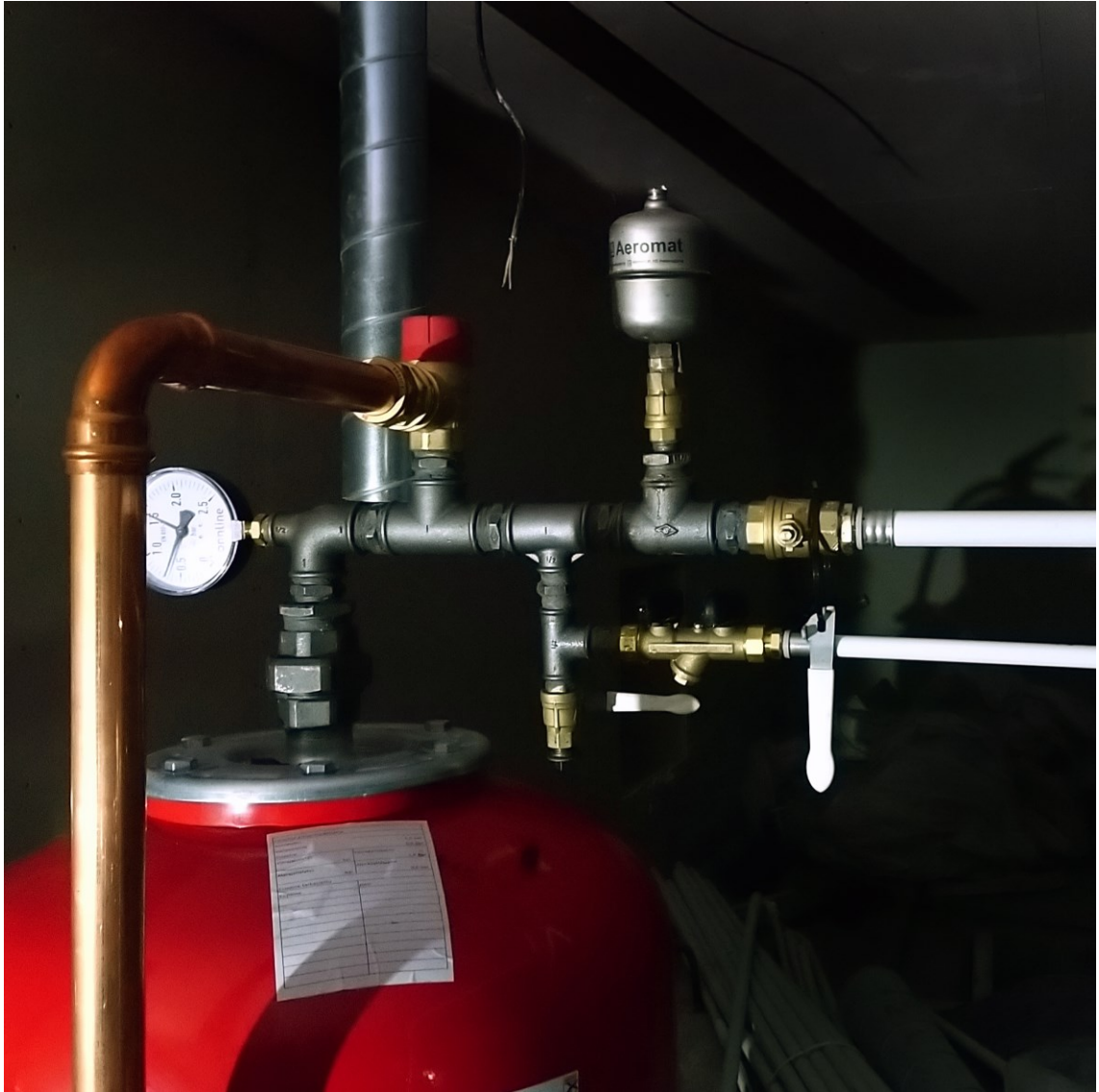
Taulukko 9. Lämmitysverkoston lämpötilatasot.

Verkosto	Menolämpötila	Paluulämpötila
Lattialämmitys	40	35
Patterilämmitys	45	30
Ilmanvaihdonlämmitys	50	30

Kohteen paisuntajärjestelmää lähdettiin mitoittamaan tekniseen tilaan. Laskemissa päädyttiin nimelliskooltaan 400 litraiseen kalvopaisunta-astiaan. Esimerkiksi Reflexin N-sarjan 400-litraiseen kalvopaisunta-astian halkaisija on 740 mm ja korkeus 1 075 mm. Jakamalla paisuntatilavuus kahdelle 200-litraiselle paisunta-astialle tarvittava vähimmäislattiatilapinta-ala paisuntalaitteistoille veisi huomattavan alueen teknisestä tilasta.

Suunnitteluvaiheessa päädyttiin kuitenkin siirtämään paisunta-astia ilmastointikonehuoneeseen, jossa tilaa paisuntalaitteistolle olisi enemmän käytettävissä. Mitoituslaskelmissa päästiin nimelliskooltaan vain 150-litraiseen paisunta-astiaan. Tällä ratkaisulla päästiin pienemmällä tilantarpeella sekä edullisemmalla perustamiskustannuksella.

Paisunta-astia toimii myös huomattavasti pienemmillä painetasoilla. Rakennepaineelta heikoimman laitteen enimmäis- käyttöpainne on vain 5 baaria, joka sijaitsee 1. kerroksen teknisessä tilassa. Tällöin varoventtiiliksi olisi soveltunut 2,2 baarin avautumispaineella oleva varoventtiili, kun se sijoitetaan IV-konehuoneessa metrin korkeudelle. Päädyttiin kuitenkin valitsemaan vakiokokoinen varoventtiili, jonka avautumispaine on 1,5 baaria. Paisunta-astian ollessa järjestelmän korkeimmassa kohdassa valittiin esipaineeksi 0,5 baaria, jolla varmistetaan, että IV-konehuoneen lämmityspattereissakin on vesi minimipaineessa. Laskennassa käytettiin myös ylintä ja alinta käyttöpainetta 0,1 baarin eroilla varoventtiilin avautumispaineeseen sekä esipaineeseen. Kuvassa 14 näkyy paisunta-astia asennettuna.



Kuva 14. Asuinkerrostalon painsunta-astia asennettuna.

Kuvan oikeasta reunasta tulee paisuntajohto, jossa on myös huoltosulku, jonka kahva on irrotettuna ja roikkuu putkistoon sidottuna. Seuraavaksi on asennettu automaattinen ilmanpoistin huoltosululla varustettuna. Alaspäin on haaroitettu täyttöventtiili sekä tulipattu tyhjennysventtiili huoltoja varten. Varoventtiili on asennettu niin, ettei sen ja täyttöventtiilin ja painsunta-astian välissä ole sulkuventtiiliä. Painsunta-astia asennettu varustettuna karttoliittimellä vaihtotyötä helpottamaan. Linjassa viimeisenä on painemittari. Painsunta-astian kylkeen on liimattu kuvan 12 mukainen painsunta-astian huoltotarra.

## 8 Yhteenveto

Mitoittaessa kalvopaisunta-astiaa suljettuun lämmitysjärjestelmään on syytä selvittää mitoituksen perustaksi tarkat lähtötiedot. Huonoilla lähtötiedoilla mitoitus on hankalaa ja ennemminkin arvailua kuin mitoitusta. Järjestelmän korkeus on suhteellisen helppo selvittää, mutta saneerauskohteiden vesitilavuus on vaikeampi.

Järjestelmään valitut lämpötilatasot vaikuttavat myös paljon tarvittavaan paisuntalaitteistoon. Suurin lämpötila sekä lämpötilaerot kasvattavat tarvittavaa paisuntatilavuutta, mikä vaikuttaa suoraan tarvittavan paisunta-astian tilavuuteen. Pieni toiminta-alue kasvattaa myös paisunta-astian tilavuutta.

Suurimman eroavaisuuden mitoituksen lopputulokseen saadaan valituilla painetasoilla. Hälytyspainerajoja ei pienemmissä kohteissa ole lainkaan, koska niitä ei luultavasti nähdä tarpeellisiksi mahdollisten vahinkojen aiheuttaessa vain pieniä taloudellisia tappioita. Osittain myös siksi, että hälytykset mahdollistavaa automatiikkaa ei ole kiinteistössä valmiina.

Vesitilavuuteen perustuva prosenttimitoitus osoittautui melko hyväksi, jos käytetään 5 prosentin osuutta ja jos enimmäislämpötila ei nouse kovin korkealle. 10 prosentin mitoituksella tulee huomattavasti epätarkempaa lopputulosta varsinkin mentäessä isomman vesitilan omaaviin järjestelmiin. Standardin ja Flamcon mitoitustavoilla saadaan hyvin samankaltaisia tuloksia, mutta LVI-kortin mitoituksella saadaan selvästi suurempia paisunta-astian kokoja.

Käyttäessä mitä tahansa edellä mainituista mitoitustavoista on tärkeintä ymmärtää, mihin käytetty mitoitustapa perustuu. Oikein mitoitettu ja riittävän usein huollettu paisunta-astia on pitkäikäinen ja varmatoiminen.

## Lähteet

- 1 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki:Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Harju, Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.
- 3 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011. LVI 11-10472. Rakennustieto Oy.
- 4 Prescor varoventtiilit. 2020. Flamco.
- 5 Harju, Pentti. 2005. LVI-tekniikan perusteet. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.
- 6 Paisunta-automaatit tuoteluettelo. 2014/2015. Flamco.
- 7 Variomat pumppuhjattu paineenpitojärjestelmä. Reflex.
- 8 Expansion Vessels. 2017. Flamco.
- 9 Rakennusten kaukolämmitys. 2014. Helsinki:Energiateollisuus ry.
- 10 Milloin olet viimeksi huoltanut paisunta-astiasi? Verkkoaineisto. IMI Hydronic Engineering. <<https://www2.imi-hydronic.com/fi/energiatehokkuus/kestava-lvi-jarjestelma/paisunta-astian-huolto/>>. Luettu 29.11.2020.
- 11 Paisunta-astia tuoteluettelo. 2014/2015. Flamco.
- 12 Tuoteluettelo 2002–2003. Reflex.
- 13 SFS-EN 12828 + A1. Heating systems in buildings. Design for water-based heating systems. 2014. Helsinki:Suomen Standardisoimisliitto.
- 14 Välilliset jäähdytysjärjestelmät. 2019. Helsinki:Suomen Kylmäyhdistys ry.
- 15 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2001. LVI 11-10329. Rakennustieto Oy.

**Putkien vesitilavuuksia [6, s. 7].**

Teräsputkien vesitilavuuksia			
Nimellisuuruus	Vesitilavuus V		Hitsattavat, saumattomat, normaaliseinämäiset teräsputket
	Teräsputket, kierteituskelpoiset keskiraskas	raskas	
DN	LVI 11 4900 dm <sup>3</sup> /m	LVI 11 4920 dm <sup>3</sup> /m	LVI 11 2611, LVI 11 2615 dm <sup>3</sup> /m
10	0,123	0,102	0,145
15	0,201	0,172	0,235
20	0,366	0,327	0,391
25	0,581	0,525	0,637
32	1,01	0,924	1,09
40	1,37	1,21	1,49
50	2,21	2,07	2,33
65	3,72	3,54	3,88
80	5,13	4,93	5,34
100	8,71	8,41	9,01
125	13,27	13,05	13,40
150	18,67	18,70	19,93
200			33,75
250			53,25
300			75,32
350			90,56
400			118,70
500			185,50

Kupariputkien vesitilavuuksia	
Ulkohalkaisija Ø mm	Vesitilavuus V dm <sup>3</sup> /m
10	0,055
12	0,079
15	0,133
18	0,201
22	0,314
28	0,515
35	0,804
42	1,194
54	2,042
64	2,830
76,1	4,081
88,9	5,658
108	8,491

Wirsbo-evalPEX ja combiPEX		
Ulkohalkaisija Ø mm	Sisähalkaisija Ø mm	Vesitilavuus V dm <sup>3</sup> /m
10	6,4	0,032
12	8,0	0,050
15	10,0	0,790
18	13,0	0,133
17	13,0	0,133
20	16,0	0,201
22	16,0	0,201
25	20,4	0,327
28	20,0	0,314
32	26,2	0,539
40	32,6	0,834
50	40,8	1,307
63	51,4	2,074
75	61,2	2,960
90	73,6	4,252
110	90,0	6,359

**Veden ominaisuuksia [1, s. 427].**

T	$\rho'$	$\rho'$	i	$c_p'$	$\nu'$	Pr'
°C	kN/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kJ/kg	kJ/kgK	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	
0	0,611	999,8	2501,6	4,217	1,75	13,0
10	1,227	999,7	2477,9	4,193	1,30	9,29
20	2,337	998,3	2454,3	4,182	1,00	6,94
30	4,241	995,7	2430,7	4,179	0,800	5,39
40	7,375	992,3	2406,9	4,179	0,656	4,30
50	12,34	988,0	2382,9	4,181	0,551	3,54
60	19,92	983,2	2358,6	4,185	0,471	2,96
70	31,16	977,7	2334,0	4,190	0,409	2,53
80	47,36	971,6	2308,8	4,197	0,361	2,20
90	70,11	965,2	2283,2	4,205	0,322	1,94
100	101,33	958,1	2256,9	4,216	0,291	1,73
110	143,27	950,7	2230,0	4,229	0,265	1,56
120	198,54	942,9	2202,2	4,245	0,244	1,42
130	270,13	934,6	2173,6	4,263	0,226	1,31
140	361,4	925,8	2144,0	4,285	0,211	1,21
150	476,0	916,8	2113,2	4,310	0,197	1,14
160	618,1	907,3	2081,3	4,339	0,186	1,07
170	792,0	897,3	2047,9	4,371	0,177	1,02
180	1002,7	886,9	2013,1	4,408	0,168	0,970
190	1255,1	876,0	1976,7	4,449	0,161	0,935
200	1554,9	864,7	1938,6	4,497	0,155	0,904
210	1907,7	852,8	1898,5	4,551	0,149	0,881
220	2319,8	840,3	1856,2	4,613	0,145	0,864
230	2797,6	827,3	1811,7	4,685	0,140	0,853
240	3347,8	813,6	1764,6	4,769	0,136	0,846
250	3977,6	799,2	1714,6	4,867	0,134	0,842
260	4694,3	783,9	1661,5	4,983	0,131	0,848
270	5505,8	767,8	1604,6	5,122	0,1295	0,860
280	6420,2	750,5	1543,6	5,290	0,1280	0,883
290	7446,1	732,1	1477,6	5,499	0,1270	0,916
300	8592,7	712,2	1406,0	5,762	0,1264	0,958
310	9870,0	690,6	1327,6	6,104	0,1253	1,00
320	11289	666,9	1241,1	6,565	0,1245	1,07
330	12863	640,4	1143,6	7,219	0,1240	1,19
340	14605	610,2	1030,7	8,233	0,1236	1,35
350	16535	574,3	895,7	10,11	0,1235	1,64
360	18675	527,5	721,3	14,58	0,1238	2,38
370	21054	451,8	452,6	43,17	0,1239	6,95
374,2	22120	315	0	$\infty$	0,143	$\infty$

## Paisunta-astian mitoitustyökalu

Lähtöarvot					
				yksikkö	
Järjestelmät	3	2	1	nro	
Varoventtiili	3	3	3	bar	
Staattinen korkeusero	10	10	10	m	
Meno			70	°C	
Paluu			40	°C	
Vesitilavuus			1775	l	
Vesitilavuus yhteensä			1775	l	
Painetasot					
	STANDARDI	LVI	FLAMCO		
P <sub>SV</sub>	Varoventtiilin laukaisupaine	300	300	300 kPa	
P <sub>HÄL+</sub>	Yläpainehälytyksen raja	300	300	300 kPa	<input type="checkbox"/>
P <sub>MAX</sub>	Verkoston enimmäiskäyttöpaine	300	295	295 kPa	<input type="checkbox"/>
P <sub>MIN</sub>	Verkoston vähimmäiskäyttöpaine	120	125	155 kPa	<input type="checkbox"/>
P <sub>HÄL-</sub>	Alapainehälytyksen raja	120	120	150 kPa	<input type="checkbox"/>
P <sub>E</sub>	Paisunta-astian esipaine	120	120	150 kPa	
P <sub>ST</sub>	Laitoksen staattinen korkeus	100	100	100 kPa	
Paine-erot					
	P <sub>SV</sub> > P <sub>HÄL+</sub>	20	20	20 kPa	
	P <sub>SV</sub> > P <sub>MAX</sub>	50	50	0,9 kPa	
	P <sub>MIN</sub> > P <sub>E</sub>	30	50	30 kPa	
	P <sub>HÄL-</sub> > P <sub>E</sub>	20	20	20 kPa	
	P <sub>E</sub> > P <sub>ST</sub>	20	10	20 kPa	
	Paisunta-astia	80	100	100 l	
	Vuotovaratilavuus	0	2,2	1,9 l	
	Hyötysuhde	0,5	0,4	0,4	
Valitse laskennelista kokoa <input type="checkbox"/> suurempi paisunta-astia					
Huoltotarratuloste					
Yksikkö	bar				
Lasketatapa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>				
Yläpainehälytyksen raja	bar				
Verkoston enimmäiskäyttöpaine	bar				
Verkoston vähimmäiskäyttöpaine	bar				
Alapainehälytyksen raja	bar				
Paisunta-astian esipaine	1,5 bar				