

Jarno Koskinen

Rakennusautomaation säätöpiirien virityisperiaatteet

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikan koulutus

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jarno Koskinen
Työn nimi	Rakennusautomaation säätöpiirien virityisperiaatteet
Toimeksiantaja	Hitcon Oy
Vuosi	2025
Sivut	50 sivua (kansilehti-lähdeluettelon loppu), liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Mika Kuusela

TIIVISTELMÄ

Rakennusautomaation tehtävä on taloteknisten prosessien, kuten lämmönjakopiirien ja ilmastoinnin, automaatiosuunnitelmien mukainen liittäminen rakennuksen valvonta-alakeskukseen, eräänlaiseen tietokoneyksikköön. Liittämisen lopuksi järjestelmien säätöpiirien toiminta täytyy vielä hienosäätää, eli virittää. Suunnitelmat ja viritystoimenpiteet toteuttaa rakennusautomaatiourakoitsija ja niiden toteutumista valvoo rakennuttajan nimeämä talotekninen valvoja.

Tässä työssä tutkittiin, miten talotekniikan prosesseja mallinnetaan askelvastekokein ja miten niiden pohjalta valitaan prosessien säätimille sopivat viritysparametrit. Tavoitteena oli löytää tehokas tapa tehdä askelvastekokeet ja tallentaa virityksien tulokset käyttäen Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmää.

Teoriaosassa perehdyttiin taloteknisiin prosesseihin, säätötekniikan perusteisiin, erityisesti viritysparametrien valinnan kannalta, sekä tutustuttiin Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmään.

Työssä tutkittiin kahden toiminnassa olevan rakennuksen säätöpiirejä, joiden Fidelix-järjestelmiin oli etäyhteys, ja joissa oli mahdollisuus tarvittaessa tehdä kenttäkokeita paikan päällä.

Työssä tehtiin kolmelle tyypilliselle talotekniselle prosessille askelvastekokeet ja viritettiin niitä ohjaavat säätöpiirit, sekä löydettiin kullekin prosessille sopivimmat vahvistusparametrit.

Toimeksiantajayritys, Hitcon Oy, lisäsi työn avulla tietämystään taloteknisten prosessien viritystekniikoista ja tehosti askelvastekokeisiin ja virityksiin käytettävää aikaa.

Asiasanat: askelvastekoe, säätö, virittäminen, vahvistus, rakennusautomaatio

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Jarno Koskinen
Thesis title	Fundamentals of tuning control loops in building automation
Commissioned by	Hitcon Oy
Time	2025
Pages	50 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Mika Kuusela

ABSTRACT

The purpose of building automation is to connect building services processes, such as heating substations and ventilation systems, to the building's automation substation, a type of computer unit, in accordance with automation design plans. Once the connection is completed, the control loops of the operational systems must be tuned. The designs and tuning are carried out by the building automation contractor, and their implementation is supervised by a building services supervisor appointed by the client.

This thesis explored how building services processes can be modeled using bump tests and how suitable tuning parameters for the controllers can be selected based on those tests. The objective was to identify an efficient method for performing bump tests and recording the tuning results using the Fidelix building automation system.

The theoretical section examined building services processes, the fundamentals of control engineering with a focus on tuning parameter selection and introduced the Fidelix building automation system.

The study focused on the control loops of two operational buildings, where the Fidelix systems were accessible remotely and field testing could be performed on-site when necessary.

Bump tests were carried out on three typical building services processes. The control loops governing them were tuned, and the most suitable gain parameters were identified for each process.

With the help of this thesis, the commissioning company, Hitcon Oy, improved its knowledge of tuning techniques for building services processes and increased the efficiency of the time spent on bump testing and tuning.

Keywords: bump test, control, tuning, gain, building automation system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TALOTEKNIIKAN PROSESSIT	6
2.1	Lämmin käyttövesi	6
2.2	Talotekniikan lämmityspiirit	9
2.3	Ilmanvaihto	10
3	SÄÄDÖN PERUSTEET	11
3.1	PID-säätö	13
3.2	Järjestelmän dynamiikan tutkiminen	14
3.3	Järjestelmän säätöparametrien valitseminen	20
4	FIDELIX-RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	25
5	ASKELVASTEKOKEET SÄÄTÖPIIREILLE	31
5.1	Patteriverkoston menoveden säätö	31
5.2	Käyttöveden lämmityksen säätö	34
5.3	Ilmanvaihtokoneen kanavapaineen säätö	37
6	TULOKSET	39
6.1	Patteriverkoston menoveden säädön tulokset	39
6.2	Käyttöveden lämmityksen säädön tulokset	41
6.3	Ilmanvaihtokoneen kanavapaineen säädön tulokset	44
7	POHDINTA	46
7.1	Tavoitteiden täytyminen	46
7.2	Tulosten luotettavuus	47
7.3	Jatkokehitysmahdollisuudet	48
	LÄHTEET	50
	LIITTEET	

Liite 1. Ohjeet askelvastekokeen suorittamiseksi

Liite 2. Askelvastekokeen dokumentti

1 JOHDANTO

Euroopan vihreän kehityksen ohjelman mukaan tarvitaan kolmen maapallon varat tyydyttämään resurssiemme tarpeet vuonna 2050, ellei nykyisiin talous- ja kulutusmalleihin puututa. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma tavoittelee tämän kehityksen pysäyttämistä [1].

Koska rakennusten osuus koko unionin energiankulutuksesta on 40 % ja kasvihuonepäästöistä 36 %, niin luonnollisesti vihreän siirtymän yksi keskeisistä elementeistä on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. Tavoitteena on uusien rakennusten päästöttömyys vuoteen 2030 mennessä ja olemassa olevien vuoteen 2050 mennessä [2].

Nykyinen lainsäädäntö Suomessa velvoittaa suunnittelemaan ja varustamaan automaatio- ja ohjausjärjestelmällä kaikki ei asumiskäyttöön tarkoitettut uudisrakennukset tai rakennukset, joihin kohdistuu toimenpideluvan mukaiset korjaus ja muutostyöt ilmanvaihdon ja lämmityksen osalta ja joiden yhdistetyt lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien nimellisteho ylittää 290 kW [3, § 11, § 12]. Talotekniikan rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa kerrotaan kappaleessa 20.00.4.11, että säätöpiireihin asetetaan sellaiset viritysarvot, ettei niihin jää jatkuvaa värähtelyä ja asetusarvopoikkeamat ovat mahdollisimman pienet [4, s. 6].

EU:n ja Suomen lainsäädännöt pyrkivät tehostamaan rakennusten energiatehokkuutta. Tämä tullaan toteuttamaan osaksi lisäämällä talotekniikan ”älykkyyttä”. Vaatimukset rakennusautomaation suunnitelmista lisääntyvät. Rakennusten olosuhteiden säädettävyyttä, niistä raportointia ja valvontaa sekä integroitavuutta muihin järjestelmiin lisätään. Tämä kasvattaa urakan työmäärä, mutta ei välttämättä näy samassa suhteessa urakoinnin hintakehityksessä. Jotta urakoitsijan toiminta säilyisi kannattava, on toimintaa tehostettava.

Tämän produktiivisen opinnäytetyön tavoitteena oli luoda rakennusautomaatiourakoitsijan työtä tehostava ohjeistus rakennusautomaation yleisimpien säätöpiirien virittämiselle ja dokumentoinnille ja näin osaltaan nopeuttaa urakan valmistumista ja parantaa työn laatua.

Työn käytännön virityksiin valittiin kolme talotekniikassa yleisesti käytössä olevaa säätöjärjestelmää. Lämpimän käyttöveden säätö viritettiin Keski-Suomessa sijaitsevaan seurakuntakeskukseen, jota kutsutaan tässä työssä rakennukseksi A. Patteriverkoston menoveden lämmityksen säätö, sekä ilmanvaihdon kanavapaineen säätö, viritettiin Etelä Savossa sijaitsevaan monitoimihalliin, jota kutsutaan tässä työssä rakennukseksi B.

Työssä ei käsitelty lämmönlähteiden prosesseja, kuten kattilat, ilmalämpöpumput jne. Näiden prosessien säätö tapahtuu usein talotekniikan muusta säädöstä erillään, omana kokonaisuutenaan ja esimerkiksi kaukolämmön tapauksessa erillään koko rakennuksesta. Myöskään ilmastoinnin muiden prosessien, kuten lämmitys ja kuivaus, säätämistä ei sisällytetty työhön.

Työtä varten laadittiin tutkimuskysymykset:

- miten säätöpiirejä mallinnetaan
- miten valitaan säätöpiirin vitysparametrit
- miten säädön vityks tehdään Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmässä?

2 TALOTEKNIIKAN PROSESSIT

Tässä työssä tutkittiin talotekniikan kolmea yleistä prosessia, joihin tehtiin säädölliset askelvastekokeet, jonka jälkeen prosessit viritettiin.

2.1 Lämmin käyttövesi

Lämmin käyttövesi, LKV, tuotetaan kierrättämällä lämmön lähteen kuumentamaa vettä, esimerkiksi kaukolämpövettä, lämmönsiirtimen ensiöpiirissä, jolloin lämpöä siirtyy toisiopiirin kautta juoksetettavaan kylmään veteen. Lähes aina toisiopiirin on lisätty viimeisen kulutuspisteestä paluuputki, niin sanottu lämpimän veden kiertojohto. Kiertojohtoon tarkoitus on pitkää koko putkistossa pieni lämpimän veden varasto, jotta veden kulutuspisteistä, kuten hanoista, saadaan lämmintä vettä heti, ilman suurempaa odottelua. Toisiopiirissä pyritään pitämään riittävän lämmintä vettä, josta hanasekoittajien avulla saadaan sekoitettua käyttäjille sopivaa vettä. [5.]

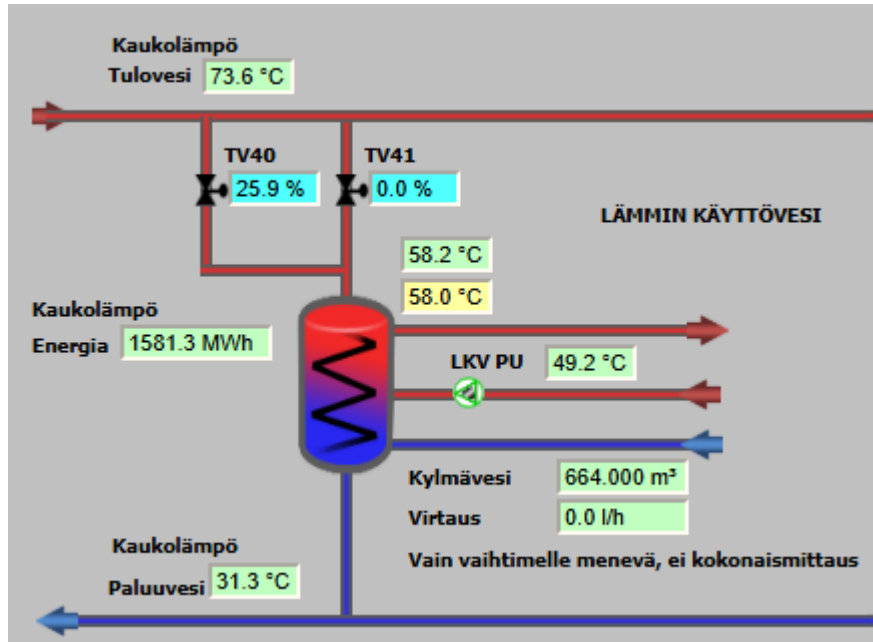
Veden lämpötila ei Ympäristöministeriön asetuksen 1047/2017 mukaan saa nousta yli 65 °C palovammojen ehkäisemiseksi [6, § 6] eikä lämpimän vesijohdon osalta laskea alle arvon 55 °C, joka voisi tarjota putkistossa bakteereille otollista kasvu ympäristöä. Ihmiselle haitallinen legionellabakteeri on yksi tällaisista bakteereista, jonka kasvua ehkäistään pitämällä käyttöveden lämpötilat joko riittävän kuumana tai kylmänä [7].

Lämpimän käyttöveden säätöpiireille on määritelty seuraavat kriteerit Rakennuksen kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet julkaisun mukaan [8, s. 15]:

1. Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta +/- 2 °C ja 2 minuuttia palautumisaikaa muutoksesta.
2. Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta +/- 7 °C
3. Sallittu jatkuva huojunta +/- 2 °C
4. Lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C. [8, 6 §]

Säädön pitää siis, asetusarvon muuttuessa, saavuttaa oloarvo 2 minuutin kuluessa niin, että pysyvä eroarvo on +/- 2 °C. Eroarvo ei saa hetkellisestikään ylittää tai alittaa asetusarvoa viidellä asteella, ja viritettyyn järjestelmään ei saa jäädä pysyvää huojuntaa asetusarvon ympäri enempää kuin 4 celsiusastetta. Huojunnan taajuutta asetus ei kuitenkaan määrittele. [8 s. 15.] Neljännen kohdan täyttyminen voidaan joutua tarvittaessa todentamaan mittaamalla veden lämpötila lähinnä vaihdinta olevasta vesipisteestä, mikäli vaihtimen jälkeinen mittaus osoittaa hetkellistä yllämpöä esimerkiksi kulutuksen loputtua.

Kuvassa 1 on kohdekiinteistö A:n alakeskuksen grafiikan kuvankaappaus, missä näkyy käyttöveden lämmönvaihdin säätöventtiileineen.



Kuva 1. Kiinteistö A:n lämpimän käyttöveden säätöpiiri

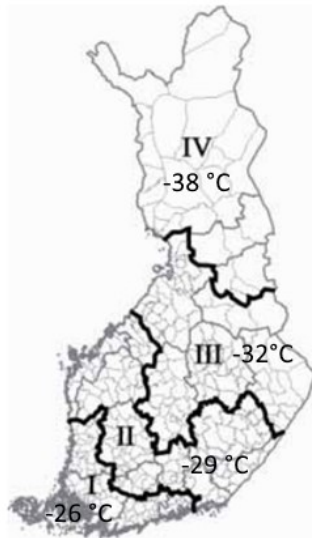
Kuvasta 1 nähdään, että kulutuspisteille menevän veden lämpötilaa, menovettä, säädetään ensiöpuolen tulohaarassa olevien venttiilien avulla. Venttiilit on usein suunniteltu asennettavaksi ensiöpuolelle, koska sen virtaama on pienempi ja näin myös järjestelmään tarvittavien venttiilien koot saadaan pienemmäksi kuin toisiopuolelle mitoitettavien venttiilien kooksi olisi tullut. Lisäksi ensiöpuolella asennetuista venttiileistä veteen mahdollisesti liukenevat metallit ja muut epäpuhtaudet eivät pääse saastuttamaan juomavedeksikin tarkoitettua käyttövettä. Venttiilit ovat tyypiltään niin sanottuja 2-tieventtiilejä, joiden tehtävänä pienentää, eli kuristaa, veden virtausta ensiöpiirissä.

Kulutuspisteiden koon ja määrän mukaan järjestelmässä oletetaan suunnitteluvaiheessa virtaavan tietty määrä vettä ajallisesti normaalin käytön mukaisesti. Puhutaan normivirtaamasta. Kun lisäksi tiedetään, että kunnan vesijohdoverkosta saadaan noin 10 celsiusasteista vettä ja sen lämpötila täytyy nostaa arvoon 58 °C, voidaan laskea tarvittavan vaihtimen koko ja siihen sopivien säätöventtiilien koot. Vaihtimissa joudutaan usein käyttämään useampaa venttiiliä, koska yhden venttiilin säätöominaisuudet eivät välttämättä tarjoa riittäviä edellytyksiä hyvän säädön toteuttamiseksi. [8, s. 13, 17.]

2.2 Talotekniikan lämmityspiirit

Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan halutaan sen sisäpuolinen lämpötila pitää tietyssä asteessa. Asuinrakennuksessa tasoksi voidaan valita esimerkiksi 21 °C, kun taas teollisuushallissa, jossa tehdään ruumiinlämpöä nostattavaa työtä, olosuhteet halutaan pitää esimerkiksi 17 celsiusasteessa [9].

Rakennuksen lämmityslaitteet tulee mitoittaa sen mukaan, kuinka kylmä sen ulkopuolinen lämpötila tulee keskimäärin ankarimmillaan olemaan. Suomessa vallitsee talvella erisuuruisia lämpötiloja ja näin onkin päädytty jakamaan maa, lämpötilatilastojen perusteella, neljään eri säävyöhykkeeseen kuvan 2 mukaisesti. [10, s. 17.]



Kuva 2. Suomen säävyöhykkeet ja niitä vastaavat mitoittavat ulkolämpötilat [10, s. 17]

Tietylle vyöhykkeelle suunniteltavan rakennuksen lämmöntarve lasketaan tämän alimmaksi ajatellun ulkolämpötilan, rakennusten vaipan läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden sekä halutun ylläpito lämpötilan perusteella. Laskenta etenee tilakohtaisista lämmöntarpeista siirtoputkistojen lämpöhäviöt huomioiden lämmönvaihtimelle, jossa kokonaislämpöteho otetaan valitun kokoisesta lämmönvaihtimesta [11, s. 7].

Lämmönvaihtimeen valitaan ensiöpiirin venttiili tai venttiili sopivan kokoisiksi mahdollistaen riittävän tarkan säädön, kuten käyttöveden vaihtimessakin [8, s. 17]. Toisipuolelle tulee lisäksi mitoittaa pumppu tai pumput riittävän veden

kierron aikaansaamiseksi. Pumpun tulee virtaaman lisäksi kumota myös siirto-putkistojen painehäviöt, jotka johtuvat putkistomateriaalien veden virtausta vastustavasta karheudesta, kitkapainehäviöistä sekä putkiston muotojen virtauksen suunnan muutoksien painehäviöistä, eli kertapainehäviöistä. [12, s. 6.]

Lämmityksen säätöpiireille on määritelty seuraavat kriteerit Rakennuksen kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet julkaisun mukaan [8, s. 15]:

- (1) Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta +/- 2 °C ja 2 minuuttia palautumisaikaa muutoksesta.
- (2) Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta +/- 5 °C
- (3) Sallittu jatkuva huojunta +/- 0,5 °C

2.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tehtävänä on pitää rakennuksen tiloissa oleskelevien ihmisten hengitysilma riittävän puhtaana. Ilmanlaatua pilaavat ihmisistä lähtevät epäpuhtaudet, lähinnä hiilidioksidi, mutta myös rakenteista haihtuvat kemikaalit, ja kuidut. Lisäksi rakennuksen sisäilma voi saastua kosteusvaurioituneen rakennusmateriaalin sieni- ja bakteerikasvustojen vuoksi. [13, s. 59–68.]

Sisäilman laatua voidaan mitata ja usein julkisissa rakennuksissa mitataankin, hiilidioksidin (CO₂-anturit) ja kemikaalien pitoisuuksia (haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-anturit). Näiden mittalaitteiden osoittamien pitoisuuksien noustessa voidaan ilmastointia tehostaa ja pyrkiä tuulettamaan kohonneet pitoisuudet takaisin sopivalle tasolle. [13, s. 99–102.]

Erityyppisten rakennusten tilakohtaiset ilmanvaihdon tarpeet voidaan lähtökohtaisesti kuitenkin mitoittaa siellä keskimäärin olevien ihmisten aiheuttamien hiilidioksidikuormien mukaan. Tällöin ilmamäärät mitoitetaan ohjearvojen perusteella. Esimerkiksi Sisäilmaluokituksen 2018 tiukimman S1-luokituksen mukaan mitoitettu makuuhuoneen ilmavirta kahdelle henkilölle olisi 20 l/s [14 s. 16–17.] Tämä määrä ilmaa pitää siis tuoda kyseiseen tilaan, ja sama määrä tai hiukan enemmän tulee siitä poistaa ilmaa.

Rakennukset halutaan pitää usein hiukan alipaineisina, jotta lämmin ja kostea sisäilma ei enimmissä pääsisi tunkeutumaan rakennuksen ulkovaippaan ja tiivistymään siellä vedeksi ja tarjoamaan näin mikrobeille parempia kasvuolosuhteita. Sen sijaan kuitujen ja homeen aineenvaihdunnan myrkyt ja sienikasvustojen itiöitä ei pystytä mittaamaan jatkuvasti, ja usein ne havaitaan ihmisten alkaessa oireilla sisäilman vuoksi. Niiden kohdalla talon sisäilma ei ole enää normaalein ilmanvaihdoin keinoin hallittavissa. [15, s. 2.]

3 SÄÄDÖN PERUSTEET

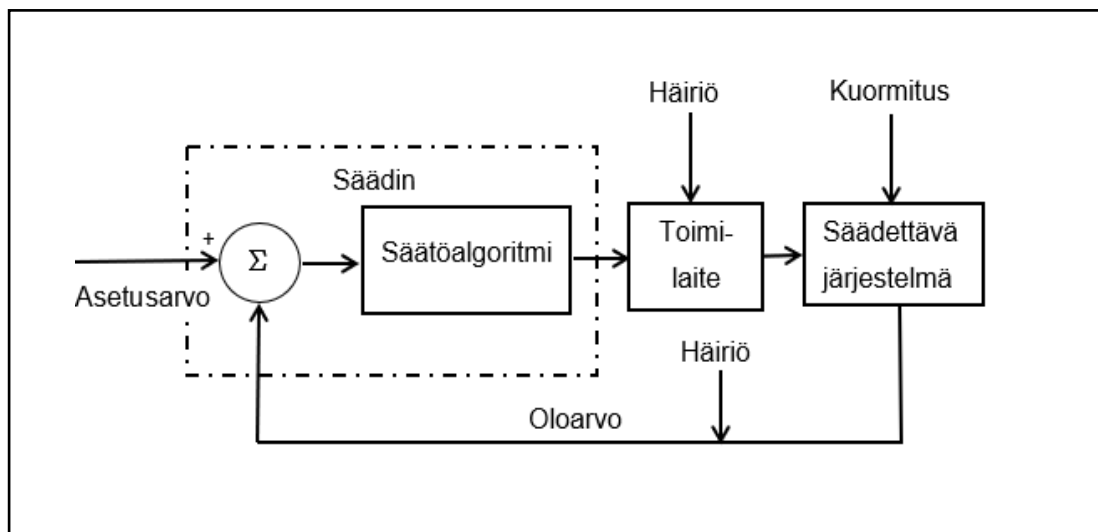
Säätötekniikan termistö on verrattain kirjavaa. Siinä missä toinen lähde kutsuu systeemin sisäisiä fysikaalisia ominaisuuksia tilasuureiksi ja niiden tavoitearvoja ohjaussuureiksi [16. s 11], kutsuu toinen niitä vastaavasti oloarvoiksi ja asetusarvoiksi [17 s. 10]. Muutamien peruskäsitteiden ymmärtämisellä voi tekstin sisällöstä kuitenkin päätellä, mistä termistä kulloinkin on kyse.

Järjestelmällä, systeemillä tai prosessilla tarkoitetaan jotain kokonaisuutta, jonka yhtä tai useampaa fysikaalista suuretta pyritään säädöllä hallitsemaan. Suuremmat järjestelmät palastellaan yleensä pienempiin kokonaisuuksiin, jolloin niiden mallintaminen ja säätäminen selkeytyy. Järjestelmän ulkopuolelle rajataan sen ympäristö, joka usein vaikuttaa merkittävästikin järjestelmän sisäisiin suureisiin, mutta johon ei voida säädöllä vaikuttaa. Esimerkiksi ulkoilman lämpötila vaikuttaa rakennuksen sisälämpötilaan, mutta ainoastaan sisälämpötilaa voidaan hallita säädön kautta. Järjestelmän komponentit on mitoitettu tiettyjen sisä- ja ulko-olosuhteiden mukaan, ja ulkoisten olosuhteiden muuttuessa täytyy säädön kompensoida tämä muutos, jotta sisäolosuhteet säilyisivät ennallaan. Järjestelmän sisäisiä olosuhteita kutsutaan tilasuureiksi tai oloarvoiksi, ja niitä arvoja, joita kohti järjestelmän tilasuureita halutaan ohjata, kutsutaan tavoite- tai asetusarvoiksi. [16. s 10–11.]

Säätimen tehtävä on verrata asetusarvoa oloarvoon ja muodostaa niiden erotuksesta sopivan suuruinen ohjausviesti toimilaitteelle. Toimilaite vaikuttaa lopulta sisäisiin olosuhteisiin jonkun fysikaalisen suureen avulla. Sähkövastuksen läpimenevää sähkövirtaa tai vesiradiaattorin virtausta hallitsemalla toimilaite nostaa tai laskee huoneilman lämpötilaa säätimen ohjauksen mukaan.

Järjestelmän haluttua tasapainotilaa taasen pyrkivät poikkeuttamaan sisäiset ja ulkopuoliset häiriöt tai kuormitustekijöiden muutokset. [17. s. 10.]

Kuvassa 3 on lohkokaavio säätöjärjestelmästä. Säädin sisältää asetusrvon ja oloarvon vertailuosan sekä säätöosan, joka annettujen parametrien mukaisesti laskee toimilaitteelle ohjausarvon.



Kuva 3. Säätöpiirin lohkokaavio [16, s. 17]

Häiriöitä voi esiintyä missä tahansa järjestelmän osassa. Kuvan 3 häiriöt kytkeytyvät toimilaitteen ulostulohaaraan, esimerkiksi virtauksen paineen vaihteluina tai oloarvoa välittämään takaisinkytkentähaaraan sähköisen mittaussignaalin häiriöinä. Savolainen pitää ympäristön osuutta järjestelmään häiriönä [16, s. 11], mutta erotuksena muihin häiriöihin voidaan sitä kutsuta myös kuormitukseksi [18, s. 21]. Säädöllä ei voida vaikuttaa suoraan häiriöihin tai kuormitukseen, mutta niiden vaikutukset pyritään kumoamaan sillä [17, s. 10].

Avainkomponentti säätöjärjestelmissä on takaisinkytkentähaara, jolla saadaan järjestelmän oloarvo välitettyä säätimelle. Vertailemalla tätä arvoa tavoitteelliseen asetusrvoon säädin muodostaa ohjausviestin toimilaitteelle, joka pyrkii muuttamaan olosuhteita haluttuun suuntaan. Ilman tietoa vallitsevista olosuhteista, ilman takaisinkytkentää, puhutaan pelkästä avoimesta ohjauksesta tai avoimesta järjestelmästä [16 s. 15]. Ohjaus toimii, jos järjestelmän kuormitus ja muut häiriöt pysyvät vakioina, mutta yleensä näin ei ole.

Eräs yksinkertaisimmista säätötavoista on niin sanottu ON-OFF-säätö. Siinä valittua olosuhdetta ylläpidetään ohjaamalla esimerkiksi lämmityslaitetta päälle ja pois sen mukaan, onko valittu lämpötilataso ylitetty tai alitettu mittauksen perusteella. Talotekniikassa huoneiden sähköpatterien termostaatit toimivat tällä tavoin, katkaisten patterin sähkönsyötön, kun huoneen olosuhteet ylittävät asetellun tason ja laittaen ohjauksen päälle lämpötilan alittaessa asetusravorajan. Tyypillistä tälle säätötavalle on olosuhteiden heilahtelu asetusravopisteen ympärillä sekä toimilaitteiden kaksitilainen ohjaus, joko päälle tai pois. Kaikki tai ei mitään. Tällä tekniikalla ei päästä kovin tarkkaan olosuhteiden säätöön, ja onkin olemassa tarkempia säätötapoja. [17, s. 12–13.]

3.1 PID-säätö

PID-säätö on teollisuudessa hyvin yleinen säätötapa. Kirjainlyhenne tulee sanoista Proportional-Integral-Derivative. Säädin pitää sisällään kolme laskentaosaa, joissa painotetaan matemaattisesti asetusravon ja oloarvon erotusta ja jotka yhdessä muodostavat toimilaitteelle ajasta riippuvan ohjaussignaalin. P-osan vahvistus K_c on kääntäen verrannollinen prosessin vahvistukseen K_p ja kompensoi prosessiin syntyneitä eroarvoja [18, s. 66]. Säätimen I- ja D-osat käyttävät usein samaa vahvistuskerrointa, kuin P-säädin, mutta I-osa, nimensä mukaisesti integroi eroarvon kestoa ja D-osa painottaa eron muutosnopeutta [18, s. 79]. I-säätimeen sisältyy vahvistuksen lisäksi termi I-aika, joka määritellään ajaksi, jolla I-säädin on vahvistanut ohjaussignaalia saman verran, kuin P-osa. Integrointi-aika on Starrin mukaan syytä valita suhteessa prosessin aikavakioon. [18, s. 74.] Säätimen D-osaan sisältyy myös ajallisesti määritettävä termi T_D , eli derivointiaika. Sen avulla säädin ennakoii, kuinka suureksi virhe muodostuu annetun ajan kuluttua. [18, s. 78.] Talotekniikan säätöjärjestelmissä, kuten myös muissa teollisuuden säätöpiireissä, jätetään usein säätimen derivoiva osuus pois ja käytetään vain PI-säädintä, koska nopeasti eroarvon muutokseen ja myös järjestelmään häiriöihin reagoiva derivaattaosuus aiheuttaa herkästi järjestelmään epästabiilisuutta [13, s. 81].

Matemaattisesti PID-säädin voidaan esittää kaavan 1 avulla [18, s 79]:

$$U = K_c \cdot \left(e + \frac{1}{T_I} \int e \, dt + T_D \frac{de}{dt} \right) \quad (1)$$

jossa	U	Säätimen ulostulo	[%]
	K_c	Säätimen vahvistus	[-]
	e	asetusarvon ja oloarvon erotus	[%]
	T_i	integrointiaika	[s]
	$\int e dt$	eroarvon integraali ajan suhteen	[% · s]
	T_D	derivointiaika	[s]
	$\frac{de}{dt}$	eroarvon muutosnopeus	[%/s]

Kaavan 1 mukaan toteutettu säädin siis vahvistaa laskettua erosignaalia käyttäjän antamien parametrien K_c , T_i , ja T_D mukaisesti. Parametrien valintaa taa- sen pyritään hahmottamaan tutkimalla viritettävänä olevan prosessin ajasta riippuvia ominaisuuksia. Kaikki kaavassa esiintyvät prosenttiosuudet on saatu normalisoimalla säädettävät suureet niiden vaihteluvälin suhteen. Tämän on välttämätöntä, jotta säätimellä voidaan säätää mitä tahansa suureita. [18. s. 97.]

PID-säädön parametrien ominaisuuksia voidaan yrittää ymmärtää erilaisia analogioita käyttäen. Voidaan esimerkiksi ajatella autolla ajajan suorittavan PID-säädön toimintoja halutun nopeuden ylläpidossa.

Tasaisella tiellä ajettaessa, ajaja pitää kaasupoljinta painettua suhteessa ha- luttuun nopeuteen suoralla ohjauksella. P-säätimen tavoin kuljettaja pitää no- peuden likipitään halututtuna korjaten pieniä liikettä vastustavien voimien muutoksia. Loivan ylämäen alkaessa auto alkaa hidastua ja ero tavoitenopeu- den ja todellisen nopeuden välillä lisääntyy. Kuljettaja reagoi tähän lisäämällä kaasua tietyn määrän heti, suhteessa mäen jyrkkyyteen, säilyttäen kuitenkin ajomukavuuden, kuten hyvin viritetty P-säädin. I-säätimen tavoin toimiva kul- jettaja lisää kaasua vielä tasaisesti mäen jatkuessa, kunnes nopeus on jälleen halutulla tasolla. Mäen harjanteella, viimeistään jyrkän alamäen koittaessa, auton liikettä vastustava kuormitus loppuu hyvin äkisti ja kuljettaja reagoi D- säätimen tavoin nostaen jalan kaasulta nopeasti. [18 s. 83.]

3.2 Järjestelmän dynamiikan tutkiminen

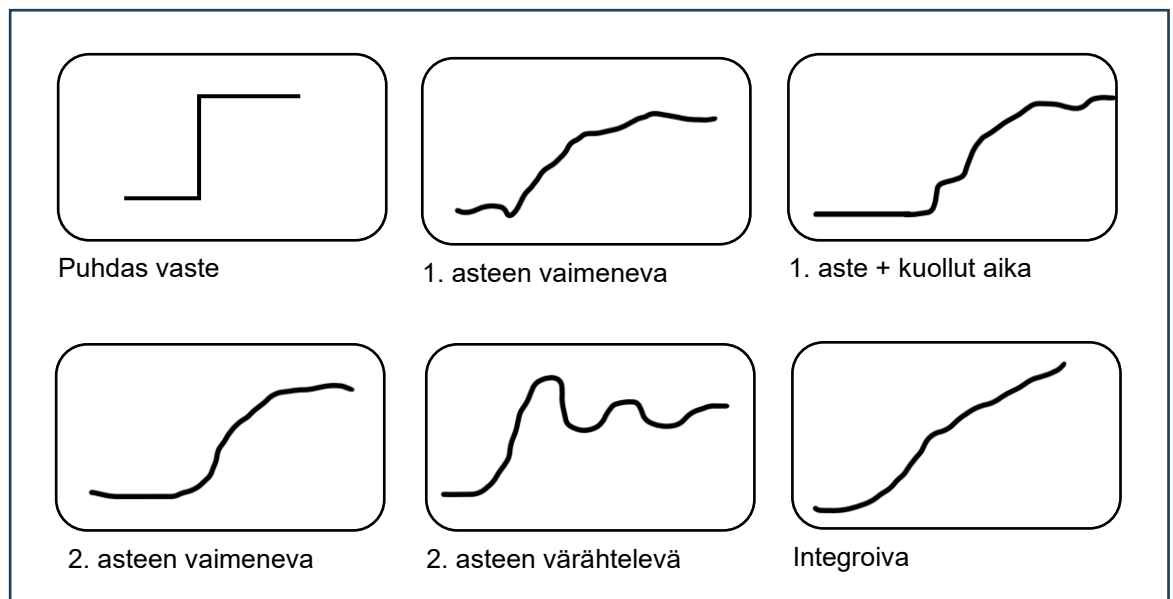
Jotta PID-säätimen parametrit voidaan valita johdonmukaisesti, täytyy järjes- telmää pystyä kuvaamaan yksinkertaisen mallin avulla. Malliin valitaan usein

vain kaikkein olennaisimmat osuudet ja säätöpiirin parametrit näitä arvoja silmällä pitäen. Se kuinka monimutkaista mallia käytetään, riippuu myös säätimestä, sillä kaikki säätimet eivät kykene toteuttamaan monimutkaisimpien mallien mukaista säätöä [18 s. 49].

Eräs yleisin tapa tutkia säädettävän järjestelmän dynamiikkaa on kytkeä säädin hetkeksi pois järjestelmästä ja tehdä toimilaitteen sisäänmenoon, esimerkiksi säätöventtiilin ohjaussignaaliin, vakiomääräinen muutos ja tallentaa testin ajan mittaussignaalin arvoa. Tätä menettelyä kutsutaan askelvastekokeeksi [19 s. 74]. Se, minkä muotoisen käyrän, oloarvon mittaussignaali piirtää suhteessa askelmaiseen toimilaitteen ohjaussignaaliin, antaa tietoa järjestelmän käyttäytymisestä.

Kuvassa 4 on annettu 6 erilaista käyrän muotoa, joita käytetään luokittelemaan järjestelmää. Vertaamalla sisäänmeno- ja ulostulos signaalia aikata-
sossa keskenään, voidaan selvittää kolme asiaa.

1. Mikä on järjestelmän vahvistus, eli ulostulon suhde sisäänmenoon [18, s. 44].
2. Mikä on järjestelmän viive reagoida sisäänmenosignaaliin, niin sanottu kuollut aika [18, s. 48].
3. Nousuaika, eli kuinka nopeasti järjestelmä asettuu uudelle tasolle sisäänmenon muutoksen jälkeen [18, s. 44].



Kuva 4. Järjestelmän luokittelua askelvasteen mukaan [18, s. 36]

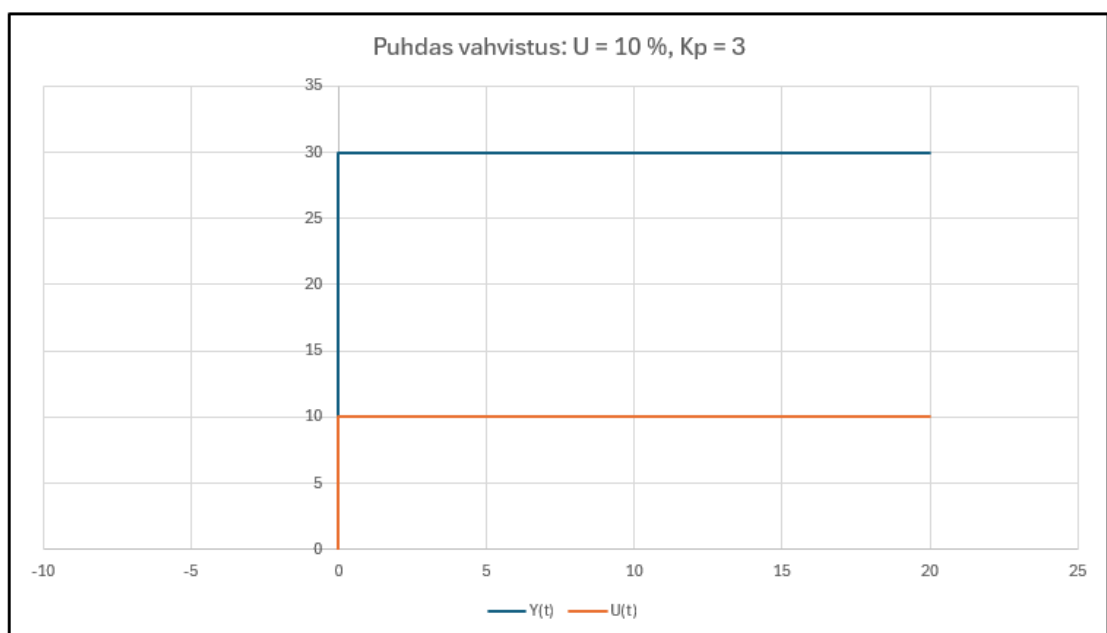
Puhdas vaste on Starrin [18, s. 42] mukaan harvinainen teollisuuden prosesseissa, sillä yleensä prosessit sisältävät jonkin energiaa varastoivan elementin

sekä viivettä reagoida sisäänmenon muutoksiin. Puhtaan vahvistuksen vasteen avulla määritellään prosessin vahvistus ja se onkin mukana muiden mallien osana. Vahvistus määritellään askelmaisen sisäänmenon U ja ulostulon Y avulla kaavalla 2 [18 s. 42]:

$$K_p = \frac{Y}{U} \quad (2)$$

jossa	K_p	Avoimen silmukan vahvistus	[-]
	Y	ulostulon arvo	[-]
	U	sisäänmenon arvo	[-]

Säätötekniikassa prosessin vahvistusta merkitään usein K kirjaimella ja pieni p merkkää, että kyseessä on nimenomaan avoimen silmukan vahvistus, eli prosessin vahvistus. Joskus kirjallisuudessa K_P (iso P kirjain alaindeksissä) tarkoittaa säätimen vahvistusta (proportional), joka taasen tarkoittaa säätimen suhteellista vahvistusta ja on siis eri asia. Tässä työssä merkitään säätimen vahvistusta termillä K_c , jossa c tulee sanasta control. Kuvasta 5 voidaan tulkita järjestelmän vahvistus askelmaisen sisäänmenon muuttuessa arvosta 0 % arvoon 10 %. Ulostulo muuttuu arvosta 0 % arvoon 30 %, joten järjestelmän vahvistus on kaavan 2 mukaisesti: $K_p = \frac{(30\% - 0\%)}{(10\% - 0\%)} = 3$.



Kuva 5. Puhtaan vahvistuksen askelvaste.

Kuvan 5 vasteessa ei ole lainkaan viivettä ja sisäänmenon muutos näkyy välittömästi järjestelmän ulostulossa.

Laskettaessa prosessin vahvistusta on ulostulon termit skaalattava prosenttiosuudeksi koko vaihteluvälille. Tällöin on tiedettävä prosessin pienin ja suurin arvo. Lämmitysjärjestelmissä käytetään arvoja 0–100 °C, joten skaalausta ei tarvitse tehdä. Muille järjestelmille on kokeiden, mittalähettimien skaalauksen tai arvion perusteella muutettava ulostulon arvot prosenteiksi käyttäen kaavaa 3 [18. s. 97]:

$$Y [\%] = \frac{\text{prosessin mitattu arvo}}{\text{maksimi arvo} - \text{minimi arvo}} * 100 \% \quad (3)$$

Esimerkiksi kanavapaineen prosentuaalinen osuus voidaan määrittellä mittalähtetimen skaalauksen ja sen hetkisen mitta-arvon perusteella. Jos mittalähtetimen ulostulo on skaalattu välille 0–500 pascalia ja mitattu arvo on 240 pascalia, niin normitettu arvo on kaavan 3 mukaan:

$$Y = \frac{240 \text{ Pa}}{500 \text{ Pa} - 0 \text{ Pa}} * 100 \% = 48 \%$$

Normituksessa tarvittavan suurimman arvon voi tarvittaessa määrittää puhallinkohtaisesti, nostamalla puhaltimen kierrokset maksimiin ja mittamaalla vallitseva kanavapaine.

Ensimmäisen asteen vaimeneva järjestelmä (kuva 4, s. 16), kuvaa prosessia, jossa on yksi energiaa varastoiva komponentti. Tällaisessa järjestelmässä on prosessivahvistuksen K_p lisäksi toinen termi τ_p , jota kutsutaan prosessin aikavakioksi. Aikavakio kuvaa prosessin hitautta seurata askelmaista ohjaussuuretta.

Ensimmäisen asteen järjestelmän ulostulo noudattaa kaavaa 4 [18 s. 45]:

$$Y(t) = U(t) K_p \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}}) \quad (4)$$

jossa $Y(t)$ ulostulon arvo ajan hetkellä t [-]

$U(t)$	sisäänmenon arvo ajan hetkellä t	[-]
K_p	Avoimen silmukan vahvistus	[-]
$e^{\frac{-t}{\tau_p}}$	yhtälön vaimennustermi	[-]
t	aika	[s]
τ_p	järjestelmän aikavakio	[s]

Sijoittamalla kaavaan 4 ajaksi $t = \tau_p$ saadaan

$$Y(t) = U(t) K_p \cdot (1 - e^{-1}) \approx U(t) K_p \cdot 0,632$$

Aikavakio on siis järjestelmällä ominainen aika, jona vaimennustermi $e^{\frac{-t}{\tau_p}}$ saa arvon e^{-1} . Tuona aikana järjestelmä on saavuttanut 63,2 % loppuarvostaan askelmaisen ohjaussignaalin seurauksena [18 s. 46].

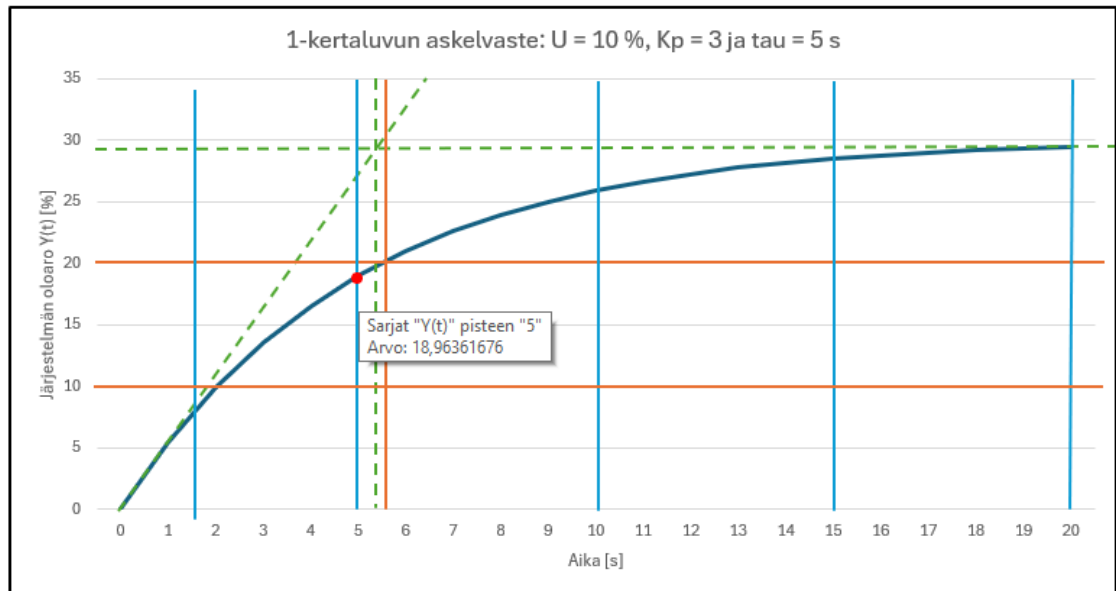
Kuvassa 6 on kuvattuna ensimmäisen asteen järjestelmän askelvaste kaavan 4 mukaan. Askelvastekokeen graafista tallennetta käytetäänkin määrittämään järjestelmän vahvistus ja aikavakio, sekä kuollut aika. Starrin [18, s. 45–47] mukaan askelvasteesta voidaan määrittää aikavakio kolmella tapaa.

1. Piirtämällä kuvaajan jyrkimpään kohtaan tangentti ja katsomalla τ_p tangentin ja loppuarvon kautta piirretyn vaakaviivan leikkauskohdasta. Kuvaajasta 6 vihreiden katkoviivojen avulla: $\tau_p \approx 5,4$ sekuntia.
2. Arvioimalla kuvaajasta loppuarvon viimeisen neljänneksen aika-arvo ja jakamalla se 4:llä. Starr [18, s. 46] kertoo, että silmä ei erota enää nousun viimeisiä 4:ttä ja 5:ttä vaihetta toisistaan ja siksi kehottaa valitsemaan ensimmäisen kohdan häiriön vääristämästä signaalista. Kuvaajasta 6 vaaleansinisten pystyviivojen avulla: $\tau_p \approx 5,0$ sekuntia.
3. Jakamalla askelvasteen nousu kolmeen yhtä suureen vaakamaiseen osaan ja katsomalla aikatason arvo toisen vaakatason ja kuvaajan leikkauskohdasta. Kuvaajasta 6 ylimmäisen oranssin vaakaviivan avulla: $\tau_p \approx 5,6$ sekuntia.

Aikavakiota vastaavan järjestelmän oloarvon voi myös laskea järjestelmän alku- ja loppuarvon perusteella kaavalla 5 [17 s. 42]:

$$Y_t = 0,632 \cdot (Y_{\text{loppu}} - Y_{\text{alku}}) + Y_{\text{alku}} \quad (5)$$

Kun Y_T on saatu laskettua kaavasta 5, voidaan τ_p lukea aika-akselilta vastaavasta kohtaa. Kuvan 5 arvoilla saataisiin $Y(\tau_p) = 0,632 \cdot (29,5 \% - 0 \%) + 0 \% = 18,6 \%$, josta edelleen vaaka-akselilta $\tau_p \approx 5$ sekuntia.



Kuva 6. 1. kertaluvun askelvaste ja aikavakion määrittämät. Punainen piste teoreettisen aikavakion kohdalla.

Ensimmäisen kertaluvun vaimenevassa järjestelmässä esiintyy käytännössä aina viivettä sisäänmenon ja ulostulon muutoksen välillä. Tätä aikaa kutsutaan säätötekniikassa yleisesti kuolleeksi ajaksi ($DT = \text{deadtime}$). Kuollut aika saattaa kasvaa merkittäväksi esimerkiksi, jos toimilaitetta ja oloarvoa mittaavaa anturia ei pystytä asentamaan riittävän lähelle toisiaan [18 s. 48]. On huomattava, ettei järjestelmän aikavakio ja vahvistus ei muutu, ainoastaan viivästyy. Tällä on seurauksensa järjestelmän viritysparametrejä valittaessa. Mitä suurempi kuollut aika on verrattuna järjestelmän aikavakioon, sitä suurempi poikkeama todellisen ja 1. asteen mallin mukaan viritettävän järjestelmän välillä on. Järjestelmät pyritään viritämään suorasynteesisäädössä 1.asteen mallin mukaisesti käyttäen vahvistusta ja aikavakiota. Vähäinen kuollut aika lisätään Starrin [18, s. 50] mukaan aikavakioon kaavalla 6.

$$\tau'_p = \frac{(T_{DT} + 4 \cdot t_p)}{4} \quad (6)$$

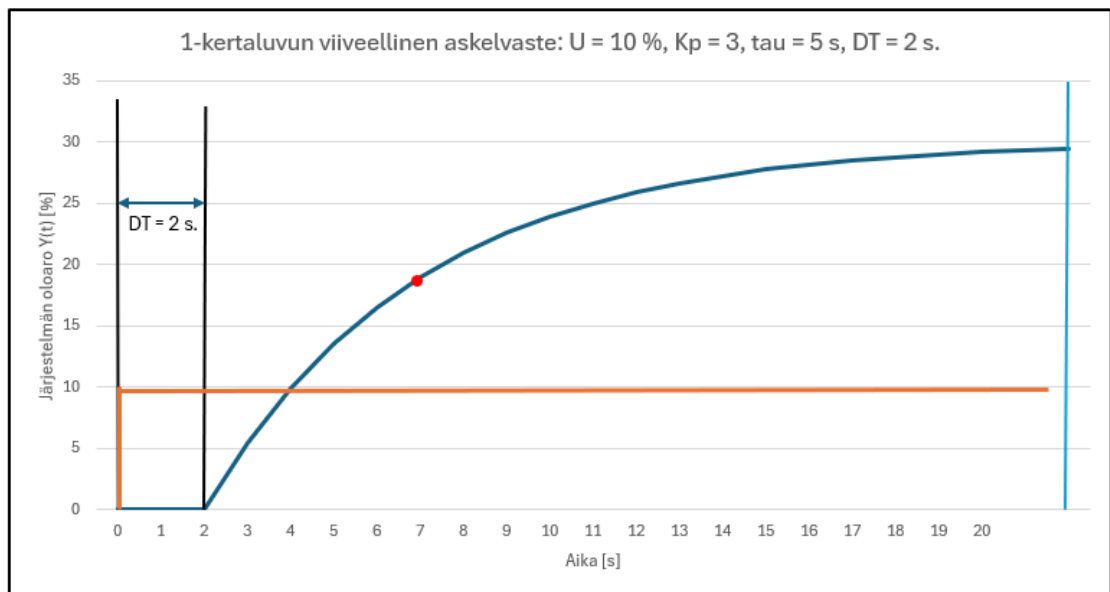
jossa τ'_p aikavakio, joka sisältää kuolleen ajan [s]
 T_{DT} kuollut aika [s]

τ_p

prosessin aikavakio

[s]

Mikäli kuollut aika aiheuttaa ongelmia kaavasta 6 huolimatta, on järjestelmän virityksessä otettava kuollut aika mukaan omana terminään. Tällöin on huomioitava, etteivät kaikki säätimet sisällä kuolleen ajan kompensointiin sopivia algoritmeja [18 s. 49]. Kuvassa 7 on kuvan 6 mukainen vaste, kun järjestelmän kuollut aika on kaksi sekuntia.



Kuva 7. 1. asteen malli + kuollut aika.

Toisen ja korkeampien asteen järjestelmiä voidaan yrittää virittää ensimmäisen asteen mallin avulla tai käyttää edistyneempiä tekniikoita. Yksi keino on hajottaa järjestelmä kahdeksi säätölohkoksi ja näin pienentää yksittäisen lohkon kuollutta aikaa. Kaskadi- eli sarjasäädössä ulomman säätimen ulostulo kytketään sisemmän säätimen sisäänmenoksi. Sarjasäätimen optimoinnissa viritetään sisempi säädin ensin. [16 s. 102–103.]

3.3 Järjestelmän säätöparametrien valitseminen

Askelvastekokeen jälkeen voidaan PID-säätimen tai PI-säätimen parametrit valita esimerkiksi käyttäen Ziegler-Nicholsin menetelmää, suorasynteesimenetelmää, Lambda-menetelmää, tai Fidelixin laskentatapaa. Työssä laskettiin parametrit PI-säädölle ilman säätimen D-osaa.

Ziegler-Nicholsin viritystapoja on olemassa useita erilaisia. Tässä työssä käytettiin menetelmää, jota sovelletaan erityisesti 1-asteen viiveellisiin, siis kuollutta aikaa sisältäviin, järjestelmiin. Ziegler-Nicholsin säätötavassa sallitaan askelmaisen asetusarvon muutoksen aiheuttaman ulostulon ylitys, jonka tulee vaimentua nopeasti siten, että ensimmäinen ylitys on puolet asetusarvosta ja seuraava taas siitä puolet, eli $\frac{1}{4}$ asetusarvosta. Ziegler-Nicholsin säätimen vahvistus lasketaan kaavalla 7 [18, s. 109].

$$K_c = 0,9 \cdot \tau_p / (K_p \cdot T_{DT}) \quad (7)$$

missä	K_c	säätimen vahvistus	[-]
	τ_p	prosessin aikavakio	[s]
	K_p	prosessin vahvistus	[-]
	T_{DT}	kuollut aika	[s]

Ziegler-Nicholsin säätimen integrointiaika lasketaan kaavalla 8 [18, s 109]:

$$T_I = 3,33 \cdot T_{DT} \quad (8)$$

missä	T_I	säätimen integrointiaika	[s]
	T_{DT}	kuollut aika	[s]

Suorasynteesimenetelmä tähtää rauhalliseen säätöön, jossa ulostulossa ei tapahdu ylitystä lainkaan tai ylitys on hyvin pieni. Suorasynteesin säätimen vahvistus lasketaan kaavalla 9 [18, s 98]:

$$K_c = 1 / (K_p \cdot \tau_{ratio}) \quad (9)$$

missä	K_c	Säätimen vahvistus	[-]
	K_p	Prosessin vahvistus	[-]
	τ_{ratio}	Käyttäjän valitsema lukuarvo	[-]

Käyttäjän valittavissa oleva τ_{ratio} on prosessin aikavakion τ_p ja säädön aikavakion τ_c suhdeluku. Mitä suurempi luku tähän valitaan, sen hitaammin tulee säätö reagoimaan prosessin muutoksiin. [18, s. 100.]

Suorasynteesimenetelmässä säätimen integrointiaika asetetaan samaksi, kuin kuolleella ajalla kompensoitu prosessin aikavakio (kaava 6, s. 20) ja merkitään kaavalla 10 [18, s 98]:

$$T_I = \tau'_p \quad (10)$$

missä	T_I	Säätimen integrointiaika	[s]
	τ'_p	Kaavan 6 mukaan laskettu aikavakio	[s]

Lambda-säätö on suorasynteesin muunnelmä, jossa pyritään ottamaan järjestelmän kuollut aika enemmän huomioon, kuin suorasynteesissä. Lambda-säädön vahvistus lasketaan kaavalla 11 [19, s 119]:

$$K_c = \tau_p / (K_p \cdot (\lambda \cdot \tau_p + T_{DT})) \quad (11)$$

missä	K_c	säätimen vahvistus	[-]
	τ_p	prosessin aikavakio	[s]
	K_p	prosessin vahvistus	[-]
	λ	käyttäjän valitsema lukuarvo	[-]
	T_{DT}	kuollut aika	[s]

Käyttäjä valitsee λ :n arvon samoin perustein, kuin suorasynteesissäkin. Mitä suurempi λ , sitä rauhallisempi säätö. Lambda-menetelmän integrointiaika valitaan suorasynteesin tavoin suoraan järjestelmän aikavakion τ mukaisesti [19, s. 119].

Fidelixin koulutusmateriaalissa esitellyt kaavat viritysparametrien laskemiseksi muistuttavat suorasynteesin ja Ziegler-Nicholsin menetelmän yhdistelmää. Vahvistus lasketaan kaavalla 12:

$$K_c = 1,2 / K_p \quad (12)$$

missä	K_c	säätimen vahvistus	[-]
	K_p	prosessin vahvistus	[-]

Vastaavuus suorasynteesiin nähdään, kun sijoitetaan $\tau_{\text{ratio}} = 5/6$ kaavaan 9:

$$K_c = \frac{1}{\left(K_p \cdot \frac{5}{6}\right)} = 1,2 / K_p$$

Integrointiaika lasketaan Fidelixin mallissa kaavalla 13.

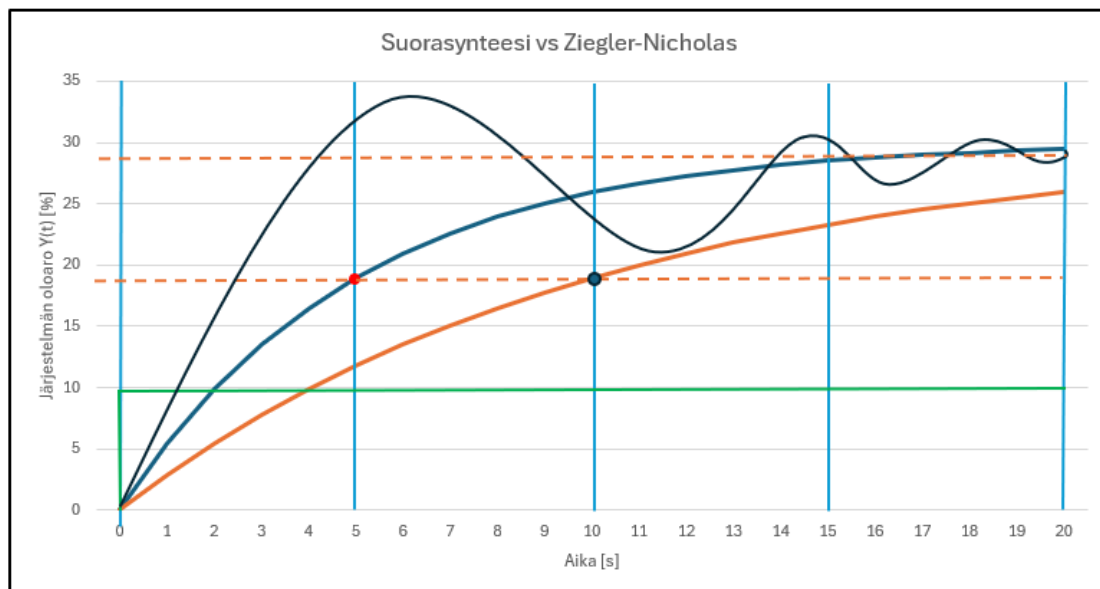
$$T_I = 3,3 \cdot T_{DT} \quad (13)$$

missä	T_I	säätimen integrointiaika	[s]
	T_{DT}	kuollut aika	[s]

Joka on siis käytännössä sama integrointiaika, kuin Ziegler-Nicholsin menetelmällä laskettu.

Viritysparametrien tavoitteena on manipuloida säätöalgoritmeilla toimilaitteen ulostuloa niin, että asetusarvon tai kuormituksen askelmainen muutos tasoittuu prosessin ulostuloon ennalta määrättyssä ajassa ja muodossa. Tämä saavutetaan, jos todellinen prosessi vastaa likipitään 1-asteen mallia. Mitä enemmän prosessi poikkeaa mallista, sitä väljemmiksi on säädön tavoitteet laskettava [18, s. 102]. Esimerkiksi suorasynteesisäädössä lähdetään usein liikkeelle valitsemalla aikavakiosuhteeksi arvo 3 [18, s. 104]. Tällöin säädön perässä olevan järjestelmän aikavakio on kolmekertainen verrattuna avoimen silmukan järjestelmään. Tämä tarkoittaa myös sitä, että asetusarvon muutoksen jälkeen järjestelmän odotetaan asettuvan uudelle tasolle kolme kertaa hitaammin, kuin avoimen silmukan suoralla ohjauksella kuluu aikaa asettumiseen. [18, s. 101.]

Kuvassa 8 on havainnollistettu suorasynteesin (punainen käyrä) ja Ziegler-Nicholsin säädön (musta käyrä) askelvasteita verrattuna avoimensilmukan vasteeseen (sininen käyrä).



Kuva 8. Suorasynteesin ja Ziegler-Nicholas suljetun silmukan vasteet.

Viritysmenetelmien käytön pitäisi johtaa riittävän nopeaan ja vähäisen värähelyn määrään järjestelmässä ilman, että virittäjä joutuu arpomaan parametrejä omasta päästään. Kuvan 8. perusteella virittäjän on mahdollista jo etukäteen miettiä, minkälaisen vasteen säätöpiirille haluaa ja valita viritysmenetelmä sen perusteella.

Virittäjä voi myös kopioida säätöparametrit aiemmin onnistuneesti viritettyjen säätöpiirin parametreista ja tyytyä niitä hienosäätämällä samaan riittävän hyvä säätö aikaan. Sormituntumalla säätäminen ei usein vie paljoa aikaa, mutta mitään tietoa kyseisen prosessin dynamiikasta ei tule dokumentoiduksi. Systemaattiset askelvastekokeet taasen antavat tärkeää tietoa järjestelmän viiveistä ja vahvistuksista. Jos järjestelmälle tehdään vuosien päästä uusi askelvastekoe, voidaan dynamiikan huomata mahdollisesti muuttuneen. Jotain on tapahtunut prosessin sisällä vuosien kuluessa. Onko venttiilin toiminta muuttunut tai onko esimerkiksi prosessin mittausarvo enää luotettava? [18, s. 14.]

Järjestelmää suunniteltaessa on hyvän suunnittelutavan mukaisesti venttiilit ja toimilaitteet pyritty valitsemaan sellaiseksi, että järjestelmästä on hyvin säädettävissä. Toisin sanoen esimerkiksi lämmönvaihtimeen valitun venttiilin on

pystyttävä säätäessään kuristamaan ensiöpuolen virtausta aiheuttamalla siihen sopivan suuruinen painehäviö. Venttiilin on myös kyettävä päästämään maksimi mitoitusvirtaama lävitseen. Mikäli järjestelmän säätöventtiilit on mitoitettu oikein, ovat hyvät säätöominaisuudet saavutettavissa. [8, s. 16.] Ongelmallisissa virityspiireissä voi olla aiheellista tarkistaa myös onko toimilaitteet, kuten venttiilit, mitoitettu oikein prosessiin nähden.

4 FIDELIX-RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Lähes kaikki kiinteistöt Suomessa, lukuun ottamatta suurta osaa omakotitaloja, ovat varustettu rakennusautomaatiojärjestelmällä. Rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa, säätää ja valvoo rakennuksen taloteknisiä järjestelmiä niin, että sisäilmaolosuhteet pysyvät vaaditulla tasolla mahdollisimman energiatehokkaasti. [13 s. 293.] Rakennusautomaatiolla järjestelmä voidaan jakaa hierarkkisesti kolmeen tasoon: hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso. Hallintotaso sisältää keskusvalvomon ja kiinteistökohtaiset valvomot, joihin taas kiinteistön alakeskus tai keskus on kytketty tietoliikenneväylän kautta. Alakeskusten alapuolella, kenttätasolla, ovat kenttälaitteet, kuten mitta-anturit, toimilaitteet, kuten venttiili- ja peltimoottorit, sekä yksikkösäätimet ja talotekniset laitteet, joita mahdollisuus integroida alakeskukseen. [13 s. 294–299.] Nykyään ylläkuvatun mukainen rakenne on hämärtynyt, kun osa kenttälaitteista voi olla liitettävissä suoraan valvomotasolle internet-yhteyden kautta. Myös alakeskukset sisältävät usein internet-yhteyden, oman selainpalvelimen ja riittävästi muistia tilastoitavien mittausten, kuten energiakulutuslukemien, tallennusta varten. Näin hierarkian ylimmän tason tehtävät voidaan hoitaa osittain tai kokonaan alakeskuksessa.

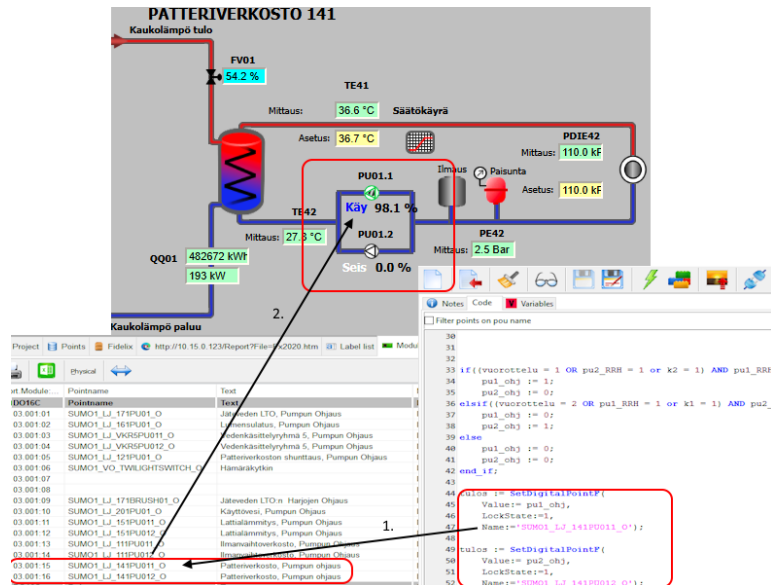
Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmä kostuu keskusyksiköstä ja tähän tietoliikenneväylän (Modbus-väylä) kautta liitetyistä I/O-moduuleista. I/O-moduulit hoitavat mittatiedon, laitteiden tilatietojen, laiteohjauksien ja säätöviestien välityksen alakeskuksen ja kenttäväylään liitettyjen laitteiden välillä. Perusmuotoisena yhteen Modbus-väylään voi liittää yhteensä 63 moduulia. Keskusyksikkö, FX-3000-X, on Linux-käyttöjärjestelmän päälle rakennettu, ja sen keskeisimmät osat ovat kenttälaiterajapinnat: Modbus (mittarit, säätimet ja muut laitteet) ja M-Bus (esim. sähkö- ja vesimittarit), web-palvelin, käyttäjien hallinta ja ener-

giaraportointi. Web-palvelimelle siirretään html kielellä ohjelmoidut rakennus-
automaatiojärjestelmän grafiikkakuvat, jotka toimivat käyttäjän ja järjestelmän
rajapintana. [20.]



Kuva 9. Fidelix keskusyksikkö 3000-X ja Compact-sarjan I/O-moduulit [20]

Järjestelmän ohjelmointi tehdään FX-editor-ohjelmistolla, jonka kautta konfiguroidaan tarvittavat I/O-moduulit, nimetään ja linkitetään niihin tarvittavat pistetunnukset ja piirretään LVI-suunnitelmien mukaiset graafiset käyttöliittymäsi-
vut. Järjestelmä ohjelmoidaan Structured Text -ohjelmointikieltä (ST-kieli) käyttäen. Kuvasta 10 nähdään, miten pistetietokanta, grafiikkakuva ja koodattu ohjelma liittyvät toisiinsa.



Kuva 10. FX-editor on monipuolinen työkalu alakeskuksen ohjelmointiin

Kuvassa on kohderakennuksen B patteriverkoston pumppujen vuorottelu.

Ohjelmakoodi vaihtaa pumppujen ohjauksen viikonpäivän mukaan tai, jos vuorossa oleva pumppu vikaantuu.

Kuvassa 11 on kuvattuna rakennuksen B säätöpisteen teko ohjelmointilomakkeen avulla. Siinä säätöpisteelle annetaan:

1. nimi ja kuvaus säätöpisteestä
2. säätötapa
3. säätöportaiden määrä
4. vahvistusta vastaava suhdealue
5. integrointiaika ja herkkyys
6. linkitetään jokainen porras ohjaamaan toimilaitetta (voidaan tehdä myös ohjelmallisesti).

Kuva 11. Rakennuksen B säätöpisteen määrittely lomakkeen avulla.

Kuvan 11 eri kentissä esiintyvät pistetunnukset yksilöivät jokaisen pisteen tiettyyn paikkaan, eli position, tietyn rakennuksen tiettyssä järjestelmässä. Hyvin nimetystä pistetunnuksesta näkee nopeasti, mikä laite tai mittari on kyseessä ja minkä järjestelmän osana se toimii. Esimerkiksi säätöpisteen oloarvoa mittaavan anturin tunnus SUMO1_LJ_141TE41_M noudattaa pääosin rakennusautomaatiojärjestelmän signaalitunnusten muodostamista. [21 s. 4.]

- SUMO1 on rakennukselle annettu tunnus ja sen perässä oleva numero vastaa kiinteistössä sijaitsevaa alakeskusta numero 1
- LJ tarkoittaa lämmönjakoa
- 141 on lämmitysjärjestelmälle, tässä patteriverkosto, valittu numero
- TE tarkoittaa lämpötila-anturia
- 41 viittaa verkoston menovesimittaukseen
- M tarkoittaa mittausta.

Säätöpisteeseen on mahdollista luoda 6-portainen säätö. Pisteen säätötavaksi voidaan valita vakioasetusarvo, kompensointi- tai kaskadisäätö.

Vakioasetusarvosäädössä piste asetellaan seuraamaan käyttäjän antamaa vakioarvoa, jota verrataan siihen linkitetyn mittauspisteen oloarvoon. Säätöparametreinä annetaan jokaiselle portaalille sopiva suhdesäädön arvo (P-Band) ja yhteinen integrointi-aika. Lisäksi säädön toimintaa on mahdollista hienosäätää määrittämällä integroinnin lopettava raja-arvo, eli integroinnin herkkyys.

Toiminnalla voidaan rauhoittaa säätöä oloarvon ollessa lähellä asetusarvopistettä.

Kompensointisäädössä vakioasetusarvon tilalla käytetään mittapistettä ja käyttäjän määrittämää kompensointikäyrää. Näin saadaan tehtyä esimerkiksi ulkolämpötilan mukaisen säätökäyrän asetusarvo lämmöntuotannon säätöpiireihin.

Kaskadisäädössä vakioasetusarvo korvataan toisen säätöpisteen ohjausviestillä. Tätä säätötapaa käytetään usein ilmastoinnin sisäänpuhalluslämpötilan säädön toteuttamiseen. Siinä käyttäjä määrittelee grafiikkakuvasta huonetilalle halutun kiinteän asetusarvon, vaikkapa 21 °C. Ulompi säätöpiste mittaa huonelämpötilaa ja vertaa sitä asetusarvoon. Eroarvon perusteella sisäänpuhalluksen asetusarvo määritellään annetun vaihteluvälin rajoissa, esimerkiksi 16–21 °C jonka sisempi säätöpiste vastaavasti lukee omaksi asetusarvokseen.

Säätöpisteissä voidaan käyttää useampaa säätöporrasta, joihin kytketään joko omaan toimilaitteeseen. Näin yksi säätöpiste voi ohjata vaikkapa kahta lämmönvaihtimeen asennettua venttiiliä, joko sarjassa tai rinnan. Myös ilmastointikoneen jäähdytys ja lämmitysportaat on kätevä kytkeä saman säätöpisteen alle. Tällöin yhtäaikainen lämmitys ja jäähdytys estyy, kun portaita ajetaan yksi kerrallaan.

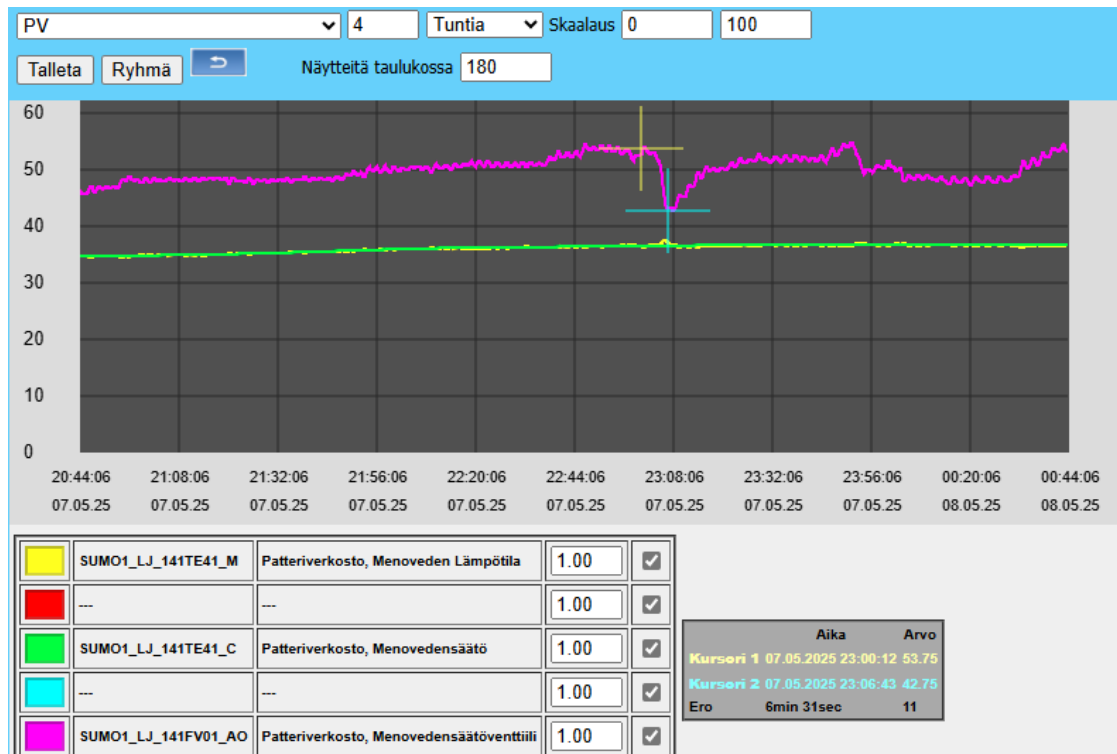
Historiaohjelman avulla määritellään ne mittapistet ja toimilaitteiden säätöviestit, joita halutaan seurata ajansuhteen. Halutut pisteet lisätään seurantaan, jolloin alakeskus alkaa tallentaa pisteiden arvoja tietokantaan kuvan 12 mukaan.

Pistetunnus	Ilmanvaihtoverkosto, Energiamittaus	Ei	1 Tuntia	5000	--	1.0	10025.dat	true
SUMO1_LJ_111QQ01_FM	Ilmanvaihtoverkosto, Energiamittaus	Ei	1 Tuntia	5000	--	1.0	10025.dat	true
SUMO1_LJ_141FV01_AO	Patteriverkosto, Menovedensäätöventtiili	Ei	5 Sekuntia	5000	--	0.1	89864.dat	true
SUMO1_LJ_141QQ01_FM	Patteriverkosto, Energiamittaus	Ei	1 Tuntia	5000	--	1.0	10026.dat	true
SUMO1_LJ_141TE41_C	Patteriverkosto, Menovedensäätö	Ei	5 Sekuntia	5000	--	0.1	89863.dat	true
SUMO1_LJ_141TE41_M	Patteriverkosto, Menoveden Lämpötila	Ei	5 Sekuntia	5000	--	0.1	89862.dat	true
SUMO1_LJ_151QQ01_FM	Lattialämmitys, Energiamittaus	Ei	1 Tuntia	5000	--	1.0	10024.dat	true
SUMO1_LJ_161QQ01_FM	Lumensulatus, Energiamittaus	Ei	1 Tuntia	5000	--	1.0	10018.dat	true

Kuva 12. Pisteiden lisääminen historiaseurantaan järjestelmässä B.

Siinä seurattavalle pisteelle määritellään pienin huomioitava vaihteluväli, sekä näytteenottoväli. Askelvastekokeissa asetetaan näytteenottoväliksi 5 sekuntia, joka on historiaseurannan minimiarvo. Lämpötilamittauksien toleranssiksi asetetaan 0,1 °C ja painemittauksissa 1 Pa.

Historiaohjelmassa tehdään myös ryhmät, joihin seurannassa olevia pisteitä ryhmitellään järjestelmäkohtaisesti ja joiden avulla pisteiden aikariippuvuuksia voidaan tarkastella graafisesti kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13. Patteriverkoston historiaryhmä kohteessa B

Ryhmään voidaan linkittää maksimissaan kuusi kappaletta historiaseurantaan lisättyä pistettä. Ryhmästä voidaan valita haluttu aikaikkuna ja tulostaa graafinen kuvaaja, joka sisältää kaikki ryhmän pisteiden ajasta riippuvat arvot käyriinä. Toiminto on erityisen kätevä tehtäessä säädön askelvastekokeita, sillä käyriin voi hiiren avulla lisätä kaksi hiusristikkoa. Ohjelma tulostaa näytölle riskoita vastaavien mittapisteiden arvot ja laskee niiden ajalliset ja arvolliset erotukset. Näin kuvaajasta saadaan nopeasti poimittua suhteellisen tarkasti halutut mitta-arvot.

5 ASKELVASTEKOKEET SÄÄTÖPIIREILLE

Jokaisesta viritettävästä säätöpiiristä lisättiin asetusarvo, säädettävä oloarvo, sekä toimilaitteen ohjearvo historiaseurantaan, sekä luotiin säätöpisteille omat historiaryhmät, joihin pisteet linkitettiin.

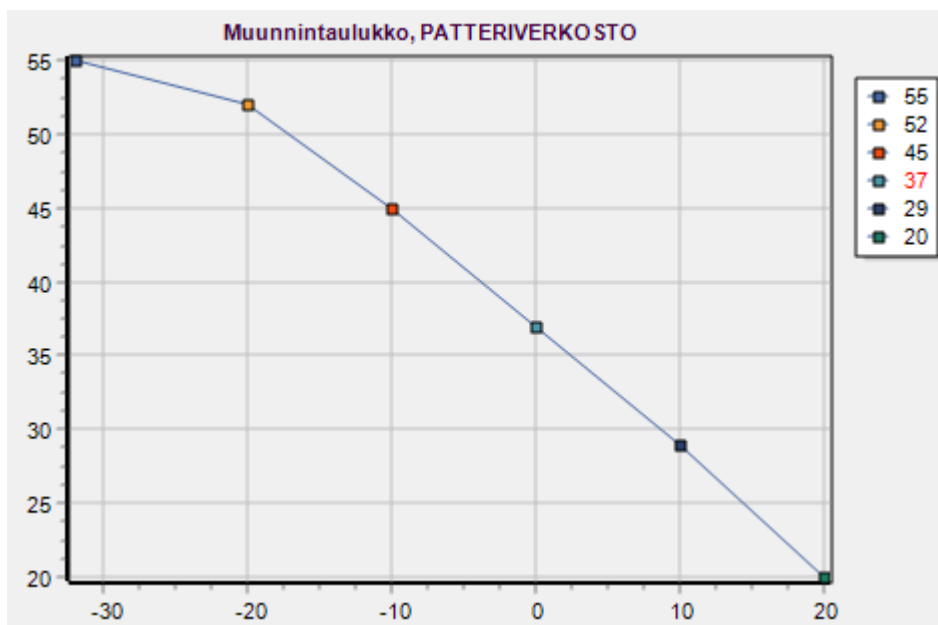
5.1 Patteriverkoston menoveden säätö

Kohteeseen B, avattiin aluksi etäyhteys, luotiin patteriverkoston viritystä varten historiaryhmä PV, ja kirjattiin ylös järjestelmän perustiedot kohteen toimintaselostuksesta.

Kohteen tiedot:

- Lämmönsiirrin 100 kW
- Toisiopiiri 55 °C/ 30 °C
- ensiöpuolen säätöventtiili DN10, kvs 1,6
- verkoston tilavuus 2600 dm³

Patteriverkoston säätöpisteen asetusarvo muodostui kompensointisäädön muunnintaulukon mukaan kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14. Kohteen B patteriverkoston ulkoilman mukaan kompensoitu muunnintaulukko

Kuvan 14. käyrässä on kuusi kappaletta ulkoilman ja menoveden arvoja, joita käyttäjä voi halutessaan muuttaa Fidelix-käyttöliittymän kautta, esimerkiksi nostamalla menoveden asetusarvoa ulkoilman ollessa -10 °C arvoon 50 °C nykyisen arvon 45 °C sijaan, mikäli talon lämmitys on koettu riittämättömäksi -10 asteen pakkaskelillä.

Kohteen B patteriverkoston säätöpisteen muut parametrit olivat kuvan 15 mukaiset.

The screenshot shows a configuration window for a control point. The left pane contains the following settings:

- Point:** Pointname: SUMO1_LJ_141TE41_C, View: 0, Manual: 0, Progr.: 0. Text: Patteriverkosto, Menovedensäätö. Picture: PV141_prosessi.htm, Auto: checked, History point: checked.
- History:** Samples max.: 5000, Sample time: 5 Seconds, Tolerance: 0.1, Max Days: 0.3. Energy channel: No, Consumption, Space: 40 kB.
- Bacnet:** Bacnet Server Object: unchecked.
- Control:** Main measurement: SUMO1_LJ_141TE41_M, Outdoor measurement: (empty). Mode: Compensation control, Lookup table: SUMO1_LJ_141TE_L. Indication point: (empty), Compensation point: SUMO1_LJ_100TE00_M. Unit: °C, Decimals: 1, Slow speed factor: 1. Integration time (sec): 28, I term sensitivity: 0.2. Execution interval (sec): 1, Cooling dead zone: 0.

The right pane shows the **Control stages** configuration:

- Show more: (dropdown), Stages used: 1, Balance point: ---, 0.0%.
- Stage 1:** Return water stage: unchecked, Name: (empty). P-Band: 40, AO point: SUMO1_LJ_141FV01_AO. Min output: 0, Max output: 100, Off state value: 0. Outdoor temperature limit / P Band: -99, 10. Limit value / measurement: 0, (empty). P-Band: 1, Type: (dropdown).

Kuva 15. Patteriverkoston säätöpiste kohteessa B: suhdealue = 40 %, integrointiaika = 28 sekuntia

Kuvan 15 pistetunnuksista voidaan tulkita, että patteriverkoston menoveden oloarvo mitataan järjestelmän pisteen SUMO1_LJ_141TE41_M avulla ja että sen asetusarvo muodostetaan muunnintaulukon SUMO1_LJ_141TE_L ja ulkoilmamittauksen SUMO1_LJ_100TE00_M avulla. Säätöpisteessä on yksi säätöporras, jonka suhdealueen arvo on 40 ja integrointiaika 28 sekuntia. Säätöpisteen ulostulo, 0–10 voltin jänniteviesti, kirjoitetaan toimilaitteelle SUMO1_LJ_141FV01_AO, joka viittaa patteriverkostossa sijaitsevaan venttiili-moottoriin.

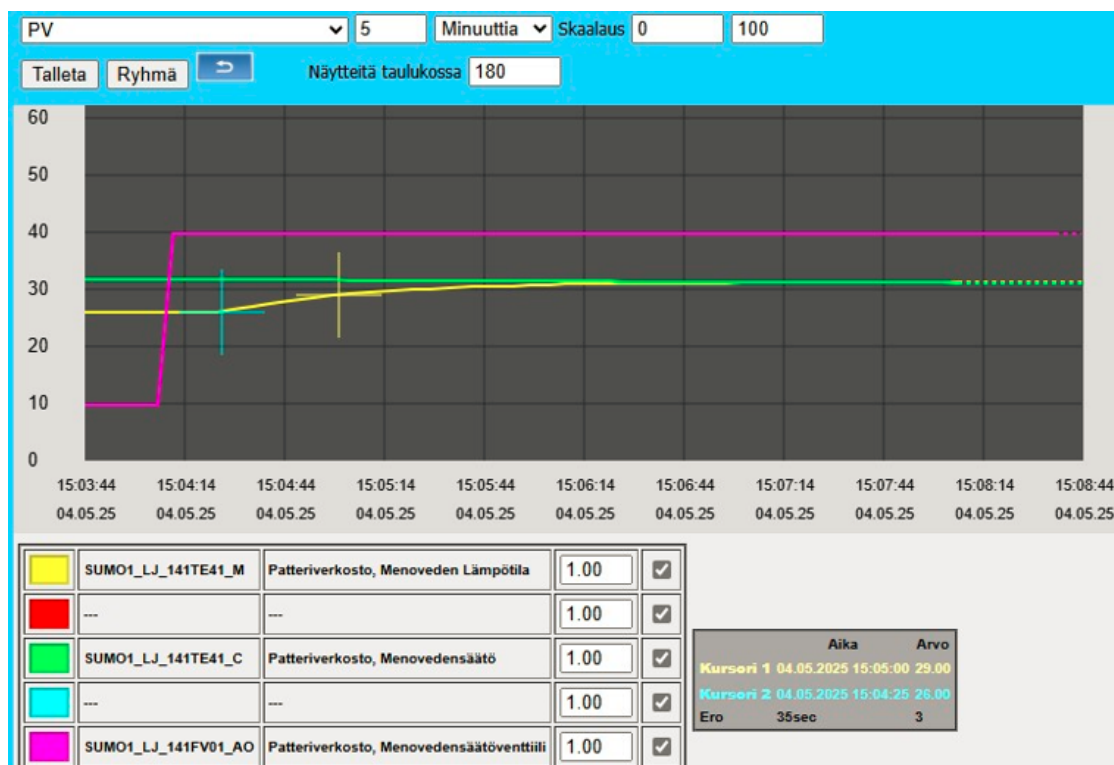
Askelvastekoe tehtiin asettamalla säätöventtiilin ohjearvo käsin 10 % ja odottamalla, että oloarvo tasaantui. Sitten ohjearvo nostettiin arvoon 40 % ja odotettiin, että järjestelmän lämpötila tasaantui uudelle tasolle. Historiaohjelman kuvaajasta poimittiin askelvastetta vastaavat oloarvot ja laskettiin järjestelmän avoimen silmukan vahvistus kaavan 2 mukaan (kaava 2, s. 16):

$$K_p = (31,25 - 25,75) / (40 - 10) = 0,18$$

Järjestelmän aikavakio määriteltiin kuvasta 16, kun ensin laskettiin sitä vastaava mittausarvo (kaava 5, s. 19):

$$Yaikavakio = 0,632 * (31,25 - 25,75) \text{ } ^\circ\text{C} + 25,75 \text{ } ^\circ\text{C} = 29,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Keltainen hiusristikko lisättiin lämpötiläkäyrälle arvon 29 °C kohtaan, ja sininen ristikko lämpötilan alkuarvon 26 °C kohtaan.



Kuva 16. Patteriverkoston askelvaste ja aikavakio 35 s kohteessa B

Aikavakion τ_p arvoksi saatiin 35 sekuntia suoraan ohjelman laskemasta hiusristikoiden aika-arvojen erotuksesta.

Järjestelmän vahvistus $K_p = 0,18$ ja aikavakio $\tau_p = 35$ s lisättiin Excel-taulukoon, joka laski viritysparametrit Ziegler-Nicholsin, suoransynteetin, Lambdan ja Fidelixin viritystekniikoille kaavojen 7–13 avulla (sivut 21–23). Tämän jälkeen eri viritysparametrejä kokeiltiin muuttamalla säätöpisteen P-Band ja I-ai-koja ja vapauttamalla säätöpiste suljetun silmukan säädölle, eli automaattisäädölle.

5.2 Käyttöveden lämmityksen säätö

Käyttöveden säädössä oli huomioitava, että siinä viritettiin tavallaan kahta eri järjestelmää. Toisaalta oli tilanne, jossa kulutuspiisteet olivat kiinni ja säädöllä

pidettiin verkoston kiertovesi asetusravossa 58 °C ja sitten olivat tilanteet, joissa lämpimän käyttöveden tarve vaihteli auki olevien lämminvesipisteiden mukaisesti. Tehty viritys oli näiden kahden säädön kompromissi. Menoveden säätö oli toteutettu kahdella peräkkäisellä venttiilimoottorilla. Fidelixin säätöpisteeseen oli ohjelmoitu omat portaat kummallekin venttiilille, mutta integrointiaika oli kuitenkin yhteinen. Tämä vaikeutti viritystehtävää. Lisäksi kuormituksen loppuminen äkisti nosti väistämättä verkoston menolämpötilaa, joka ylitti asetuksen rajat. Tätä ylitystä ei säädöllä voitu poistaa [22].

Kohteen A, seurakuntakeskus, tiedot:

- Lämmönsiirrin 200 kW
- Toisiopiiri 10 / 58
- Ensiöpuolen säätöventtiilit DN15, kvs 1,0 ja 4,0
- Mitoitusvirtaama 1,00 dm³/ s
- Asetusarvo 58 °C.

Tehtiin kolme askelvastekoetta:

- ilman kuormaa, järjestelmän kompensoidessa pelkästään kierron lämpötilahäviöitä
- juokuttamalla kahdesta vesipisteestä lämmintä vettä
- juokuttamalla kahdesta vesipisteestä lämmintä vettä ja lukitsemalla pienempi venttiili auki 20 % ja tekemällä askelkoe suuremmalle venttiilille. Kirjattiin kokeiden tulokset taulukko-ohjelmaan kuvan 17 mukaisesti.

PELKKÄ KIERTO	
U1	20
U2	40
T1	55,5
T2	60,5
DELTA T	5
Yaikavakio	58,7
Aikavakio	19
DT	13
Kp	0,25
TAU1' SYN-TEESI	22,25
DT-SUHDE	0,68

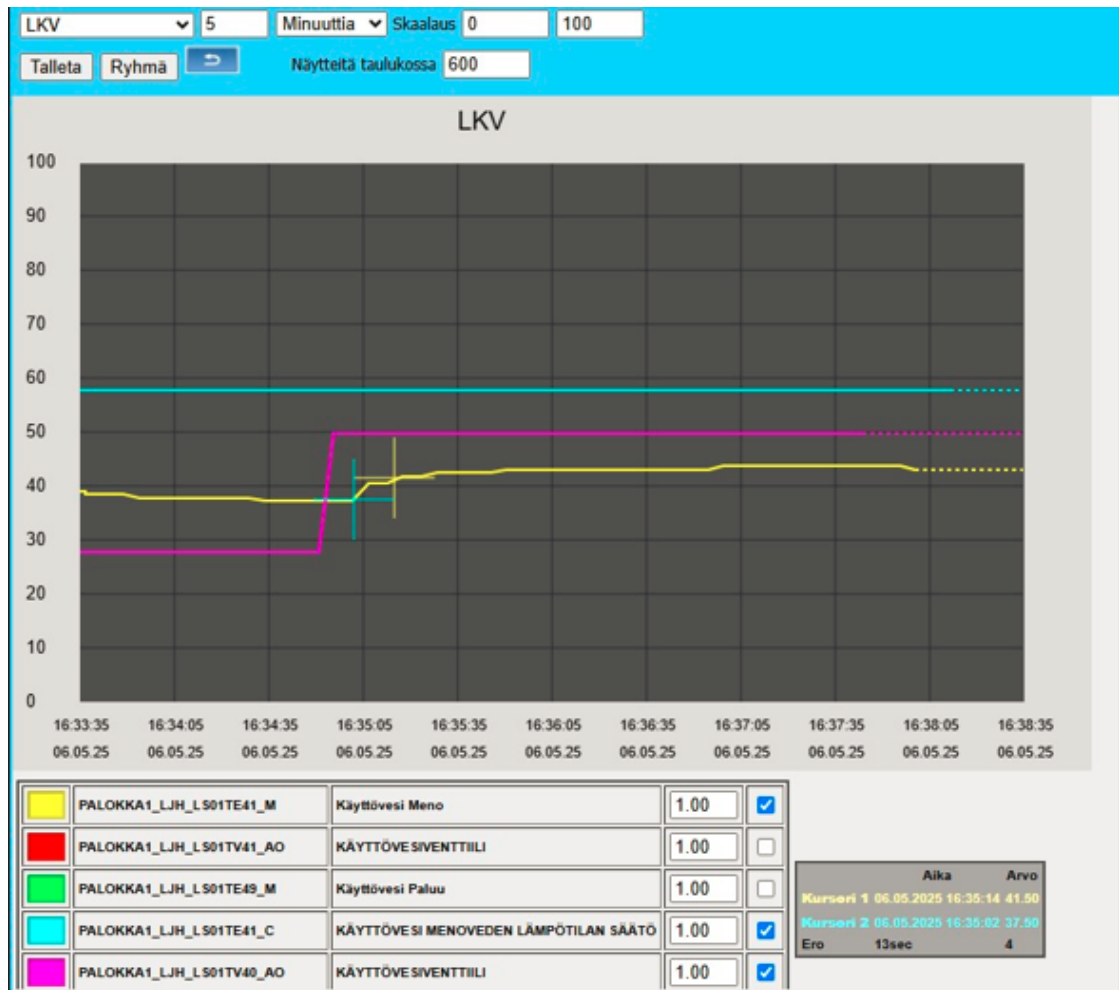
KUORMITUS 2 HANAA	
U1	28
U2	50
T1	37,5
T2	43
DELTA T	5,5
Yaikavakio	41,0
Aikavakio	13
DT	6,5
Kp	0,25
TAU1' SYN-TEESI	14,625
DT-SUHDE	0,50

KUORMITUS 4 HANAA	
U1	0
U2	10
T1	52,3
T2	62
DELTA T	9,7
Yaikavakio	58,4
Aikavakio	24
DT	6,5
Kp	0,97
TAU1' SYN-TEESI	25,625
DT-SUHDE	0,27

Kuva 17. Käyttöveden askelvasteiden arvot

Kuvan 17 Taulukoista selviää, että vahvistukset, aikavakiot ja kuolleet ajat vaihtelivat jonkin verran testitilanteiden välillä.

Kuvassa 18 on esitetty lämpimän käyttöveden askelvastekokeen ulostulon kuvaaja ja aikavakion määrittely hiusristikoiden avulla, kun vettä juoksutettiin järjestelmän kahdesta vesipisteestä.



Kuva 18. Kohteen A lämpimän käyttöveden askelvaste pienellä kulutuksella

Kuvan avulla määriteltiin prosessin vahvistukseksi 0,25 ja aikavakioksi 13 sekuntia.

Kuvassa 19 on meneillään kohteen A käyttöveden kuormitustestitilanne.



Kuva 19. Käyttövesipiirin kuormitusta

Kuvan 19. kuormitustestit tehtiin ilta-aikaan, kun rakennuksessa ei ollut muita käyttäjiä. Näin voitiin varmistua, ettei ylimääräisiä kulutuspisteitä ollut käytössä testin aikana.

5.3 Ilmanvaihtokoneen kanavapaineen säätö

Viritys tehtiin kohteen B. toimistotiloihin ilmastoinnista vastaavalle koneelle TK304.

- Kohteen B ilmastointikoneen TK304, toimistotilat, tiedot:
- Tulo- ja poistopuhallin $1,6 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Taajuusmuuttajien kautta ohjattavat oikosulkumoottorit
- Kanavapainesäätö
- Kanavapaineen asetusarvon pudotus yöksi

Järjestelmässä oli ollut ongelmia kanavapaineen säädössä yöaikana. Säätöpiiri, joka ajautui yöllä epätasapainoon, oli viritetty kokeellisesti päiväkäytön kanavapainearvoilla.

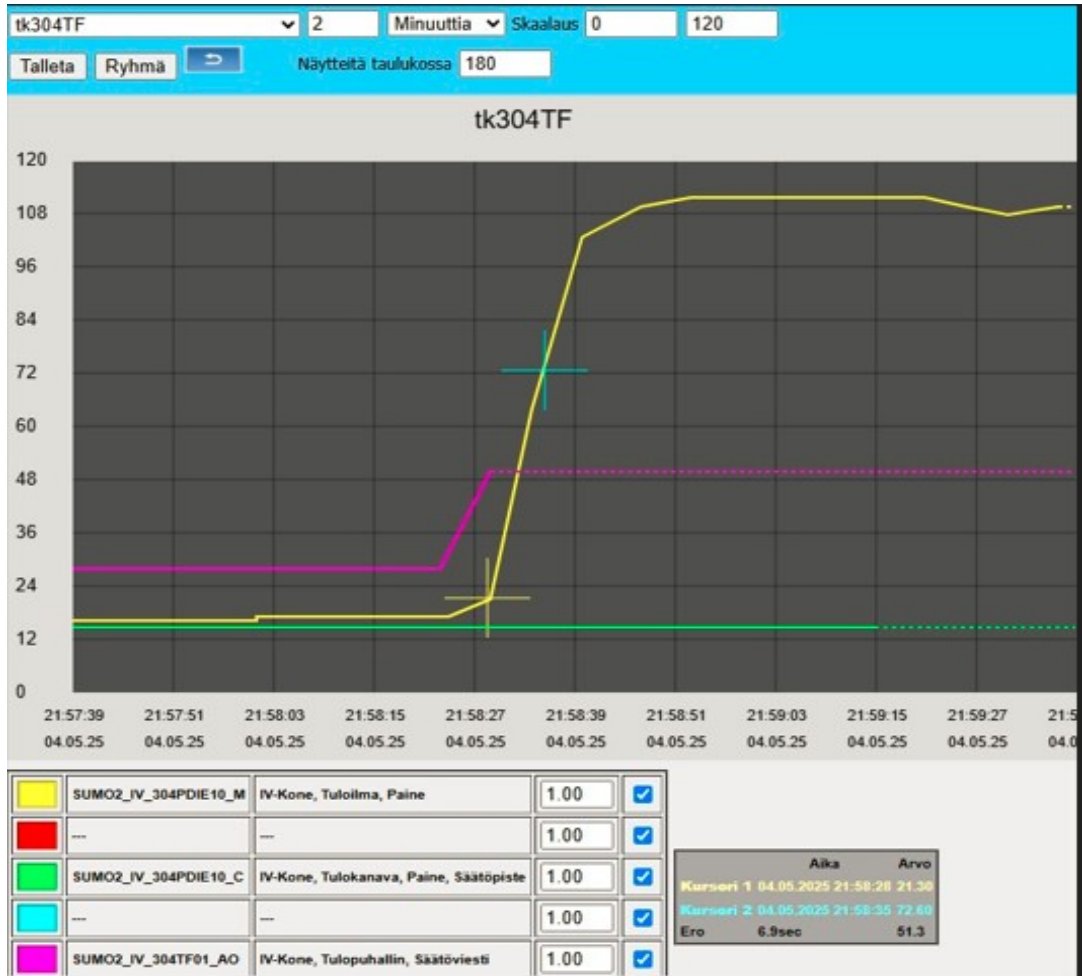
Tehtiin askelvastekoe tuloilmapuhaltimelle, ja tallennettiin taulukko-ohjelmaan kuvan 20 arvot viritysparametrien laskentaa varten. Tätä varten oli kanavapaineet muutettava prosenttiosuuksiksi sivun 17 kaavalla 3. Mikäli kyseessä olisi ilmamäärän säätö, voitaisiin suurin ilmavirta katsoa suoraan IV-koneen tiedoista (usein kilpitiedoissa koneen kupeessa), mutta kanavapainesäädössä tieto saatiin ajamalla puhallinta hetken täydellä teholla ja käyttämällä tätä kanavapaineen arvoa vaihteluvälin ylärajana, alarajan paineena käytettiin arvoa 0 Pa.

U1	28
U2	50
Y1	3,4
Y2	22,4
DELTA T	95
Yaikavaki	77,0
Aikavakio	7
KUOLLUT A	6
Kp	0,86
TAU1' SYN	8,5
DT-SUHDE	0,86

NORMALISOINTI		
Ymax [Pa]	500	100 %
Y1 [Pa]	17	3 %
Y2 [Pa]	112	22 %

Kuva 20. Askelvasteen arvot taulukossa.

Aikavakiota vastaava 63,2 % oloarvo 77 Pa luettiin taulukosta. Nousukohtan keltaisen cursorin ja sinisen cursorin erotus antoi kuvan 21 mukaan aikavakioksi noin 7 sekuntia.



Kuva 21. Tulopuhaltimen askelvaste ja aikavakio.

Askelvaste kokeesta voidaan kuvan 21 perusteella havaita, että kanavapaine nousee varsin nopeasti lopulliseen arvoonsa ja myös kuollut aika järjestelmässä on vain joitakin sekunteja.

6 TULOKSET

Säätöpisteiden viritysparameitrien asettelun jälkeen, säätöpisteet vapautettiin käsiajolta, jonka jälkeen säätön käyttäytymistä tallennettiin historiaseurantaan. Muutamien minuuttien kuluttua tallennus toistettiin uusilla viritysarvoilla.

6.1 Patteriverkoston menoveden säädön tulokset

Tulokset tulkittiin historiaohjelman avulla, ja valittiin niiden perusteella edustavimmat viritysarvot. Kaikissa virityskokeissa painotettiin riittävän rauhallista säätöä nopeuden kustannuksella. Näin yritettiin pienentää riskiä, jolla järjestelmä saattaisi alkaa huojua kuormitustekijöiden muuttuessa.

Kuvan 22 historiaseurannan perusteella kaikki viritysparametrit toteuttivat hyvin säädölle asetetut tavoitteet. Uusi asetusarvo saavutettiin varsin nopeasti ilman merkittävää asetusarvon ylitystä tai huojuntaa järjestelmän oloarvossa.



Kuva 22. Eri säätövasteet järjestelmän asetusarvoa muutettaessa.

Valittiin säätötestien perusteella käyttöön Lambda 1 -viritysparametrit (kuva 22 vasen alalaita). Siinä toimilaitteen ohjaussignaali oli rauhallisin verrattuna muilla viritystavoilla säädettyyn järjestelmään.

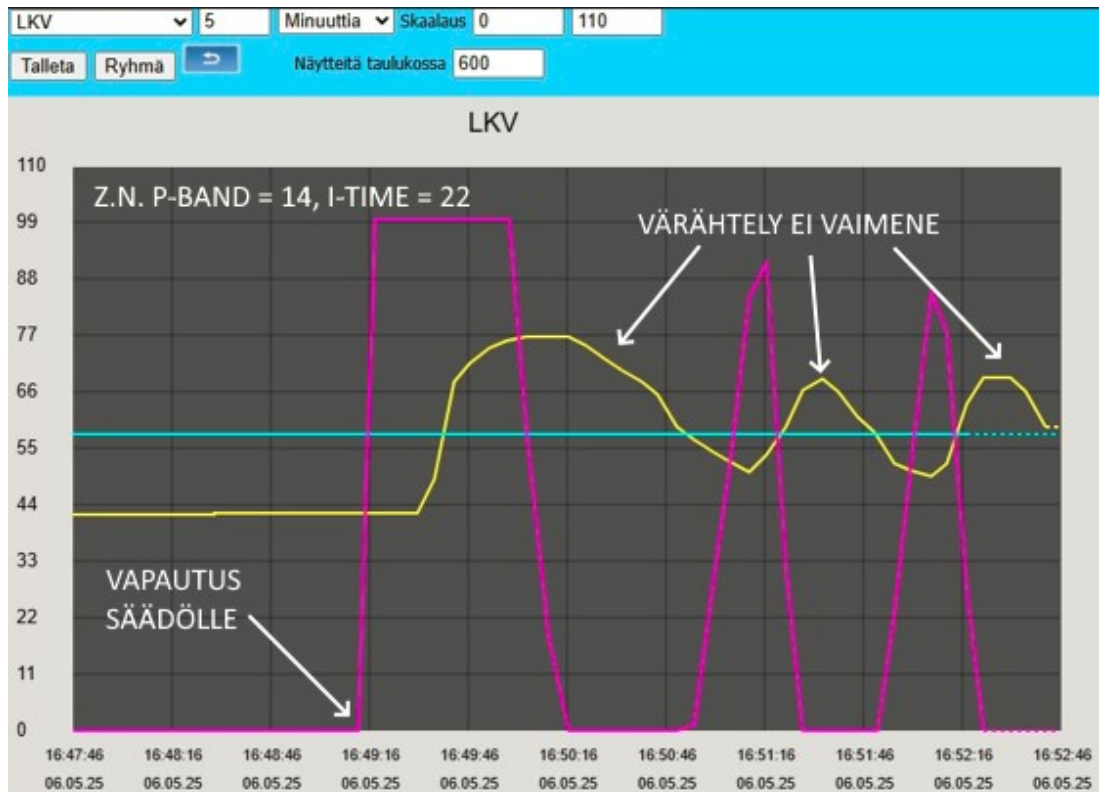
Excel-taulukkoon merkittiin muistiin värikoodaukset eri kokeilujen vasteille, sekä valitut säätöparametrit kuvan 23 mukaisesti.



Kuva 24. Pelkälle kierrolle viritetty säätö aiheutti suuria poikkeamia kuormitustilanteessa

Kuvan 24 perusteella järjestelmää ei pystytty virittämään nollekuormituksella tarpeeksi vakaaksi ja järjestelmälle tehtiin kuormituskokeita uusien viritysparametrien laskemiseksi.

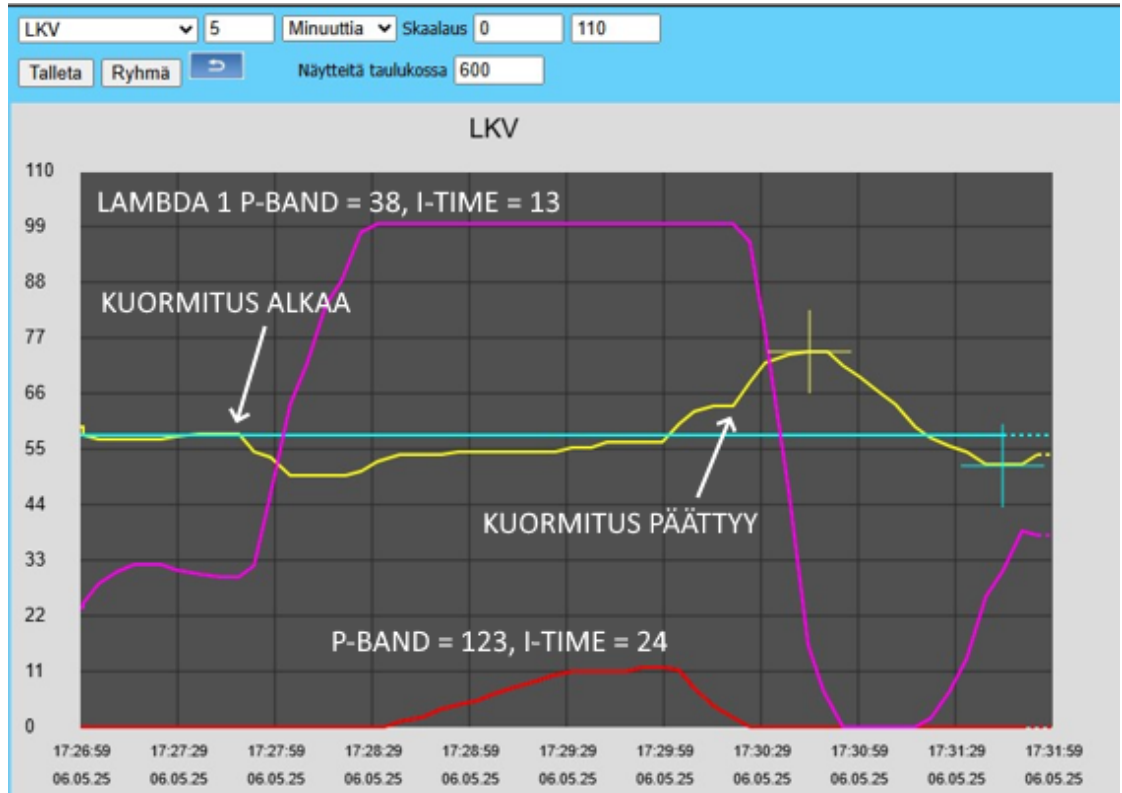
Kuormituskokeissa Ziegler-Nicholsin parametrit saivat järjestelmän epätasapainoon jo kiertovesitilanteessa, kuten kuvasta 25 nähdään.



Kuva 25 Ziegler-Nichols parametrit saivat järjestelmän värähtelemään

Järjestelmä olisi saattanut vaimentua kokeilemalla hienosäätä parametrejä, mutta rajallisen mittausajan vuoksi, siirryttiin kokeilemaan Lambdalle laskettuja arvoja.

Kuvassa 26 on Lambda-kertoimella 1 viritetty säätö, joka antoi riittävän hyvät tulokset niin kierrolla kuin kulutustilanteissakin.



Kuva 26. Lambda 1 vaste, kun järjestelmä siirtyy kierrolta kulutukselle ja takaisin

Kuvassa 26 nähdään punaisella piirretyllä käyrällä myös suuremmin venttiilin avautuminen kuormituksen kasvaessa. Kaikkien kulutuspisteiden äkillinen sulkeminen aiheutti menoveden lämpötilan nousun hetkellisesti noin 70 celsiusasteeseen, jota pelkillä säätötoimenpiteillä tuskin saataisiin alennettua. Takamäen mukaan säädöllisesti tasapainossa olevan järjestelmän kulutuspisteiden sulkemisen jälkeistä lämpötilan nousua ei saada virittämällä alemmaksi [22]. Kulutuspisteitä heti uudelleen avattaessa ei näin kuumaa vettä kuitenkaan havaittu käsituntumalla.

6.3 Ilmanvaihtokoneen kanavapaineen säädön tulokset

Tulopuhaltimen säädössä Ziegler-Nichols ja Fidelix-parametrit saivat järjestelmän värähtelemään. Suoran synteessin avulla viritetyn säädön värähtely vaimeni sekin turhan hitaasti. Kuvassa 27 on kaikkien neljän viritystavan säätöjen historiaseurankuvat.



Kuva 27. Ainoastaan Lambda-virityksellä saatiin rauhallinen säätö puhaltimen molemmille asetusarvoille.

Lambda-virityksen arvoilla säätö oli melko rauhallista, ja sitä päätettiin virittää vielä löysemmäksi kasvattamalla suhdealuetta suurentamalla Lambda-kerrointa. Kertoimella viisi saavutettiin erinomaisen hyvin asetusarvoa seuraava säätö, joka on nähtävissä kuvan 27 vasemmassa alalaidassa.

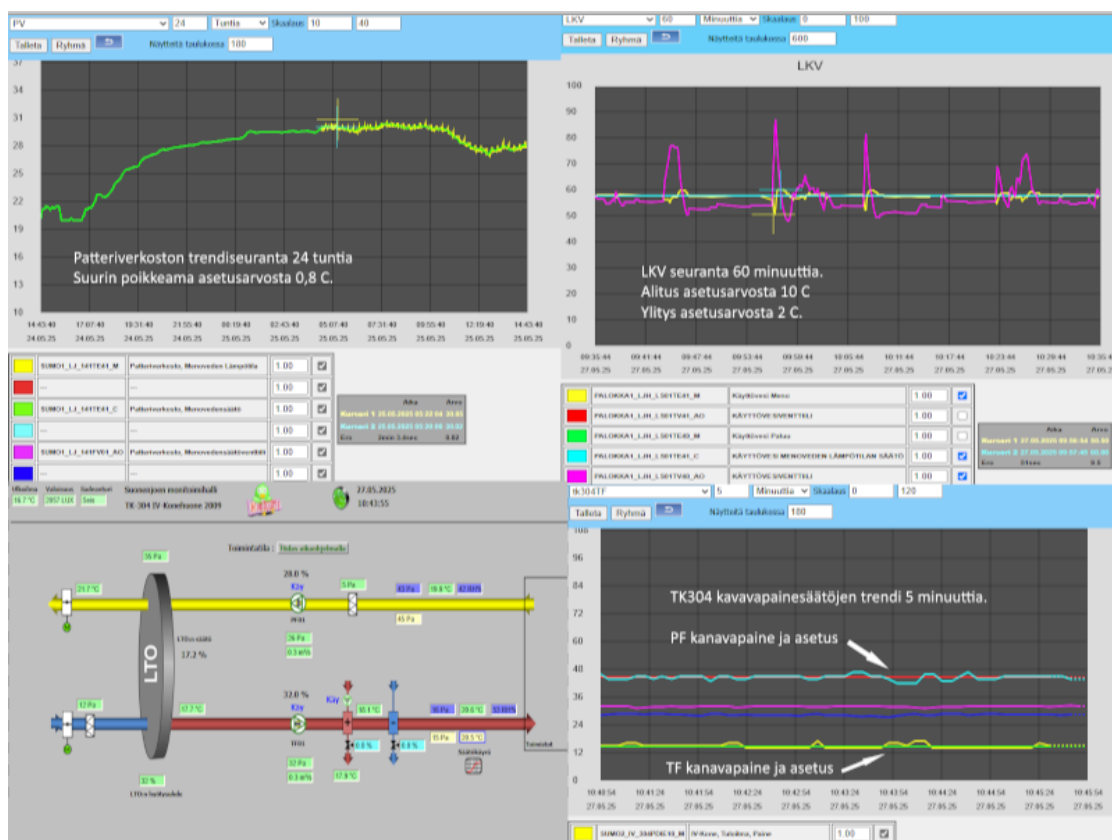
Kuvassa 28 askelvastekokeen tulopuhaltimelle lasketut viritysparametrit. Samoja parametrejä sovellettiin myös poistopuhaltimelle.

7.2 Tulosten luotettavuus

Kaikissa työn virityskokeissa edettiin johdonmukaisesti samaa kaavaa noudattaen.

- Dokumentoitiin järjestelmän toimilaitteet ja suunnitelmissa annetut mitoituservot
- Luotiin historyryhmä ja linkitettiin siihen tarvittavat järjestelmän pisteet
- Siirryttiin avoimensilmukan säätöön, eli käsisäädölle
- Järjestelmän tasaannuttua tehtiin toimilaitteen ohjaussignaaliin askelmainen muutos
- Tulkittiin historykuvasta avoimensilmukan vahvistus, aikavakio ja kuollut aika
- Syötettiin arvot taulukkolaskentaan, jolloin saatiin viritysmenetelmiä vastaavat viritysparametrit
- Syötettiin parametrit säätöpisteeseen menetelmä kerrallaan ja vapautettiin säätö automaatile
- Tarkasteltiin säädön hyvyttä historyseurannasta
- Valittiin säätöpiirille sopivin säätövaihtoehto ja dokumentoitiin sen trendiseuranta kuvaaja.

Säädön toimivuus varmistettiin jättämällä historyseuranta päälle ja tarkastelemalla säädön toimivuutta useampana päivänä peräkkäin. Kuvassa 29 on säätökohteiden historyseurannat kolme viikkoa varsinaisten viritysten jälkeen.



Kuva 29. Säätkohteiden seuran kolme viikkoa virityksistä

Kuvan vasemmassa yläalaidassa on kohteen B patteriverkoston menoveden seuranta yhden vuorokauden ajalta. Sääto seuraa asetustarvosta tarkasti yöaikaan, mutta päiväsaikaan, toukokuun lopussa, on alkanut ilmetä maksimissaan 0,8 celsiusasteen asetustarvopoikkeamaa. Oppaan K1 mukaan poikkeama saisi olla $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [8, s. 15]. Säätoä seurataan ja viritetään tarvittaessa lisää lämmityskauden alettua. Ylärivissä seuraava kuva on kohteen A käyttöveden lämpötiläsäädön tallenteesta. Verrattuna viritystapahtuman kuormituskokeisiin, menoveden lämpötilan nousu käytön jälkeen on hyvin maltillinen, vain kaksi astetta yli asetustarvon. Käytön alkaessa menovesi pääsee laskemaan kymmenisen astetta joissain tapauksissa. Alarivin kuvat ovat kohteen B toimistotilojen tuloilmakoneikosta. Sekä tulo- että poistopuhaltimien kanavapainesäädöt pysyvät hyvin asetustarvoissaan.

7.3 Jatkokehitysmahdollisuudet

Viritysohjetta on tarkoitus täydentää ainakin seuraavin osin:

- Ilmanvaihtokoneen sisänpuhalluslämpötilan kolmiportaisen säädön virittäminen.
- PID-säädön parametrit käyttöveden säädölle

- Toimilaittevikojen jättäminen säädön historiatietojen avulla
- Liian pienen virtauksen osoittaminen ilmanvaihtokoneen patteripiirissä
- Säästöventtiilien kokojen tarkistusrutiini osana viritystapahtumaa.

Lisäksi viritystapahtuman osittaista automatioisointia olisi hyvä tutkia.

LÄHTEET

1. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Eurooppa-neuvosto. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.12.2024. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/> [viitattu 29.1.2025].
2. 55-valmiuspaketti. Eurooppa-neuvosto. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.4.2024. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/fit-for-55/> [viitattu 29.1.2025].
3. Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä annetun lain muuttamisesta 21.4.2023/758.
4. TalotekniikkaRYL 2024. Rakennustieto. LVI-järjestelmien vaatimusten mukaisuuden osoittaminen.
5. Helppo ja luotettava kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Gebwell Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/kaukolampo/kaukolammonjakokeskus/> [viitattu 12.5.2025].
6. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 28.12.2017/1047.
7. Käyttöveden lämpötila ja laatu. Talotekniikkainfo. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatu> [viitattu 12.5.2025].
8. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus ry. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf [viitattu 29.1.2025].
9. Huonelämpötilojen suunnittelu-arvot. Talotekniikkainfo. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihtopas/4-huonelampotilojen-suunnittelu-arvot> [viitattu 12.5.2025].
10. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 27.12.2017/1010.
11. RT RakMK-103174. Rakennustieto. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018.
12. LVI 12-10343. Rakennustieto. Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002.
13. Sandberg, E. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. 3. painos. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2022.
14. RT 07-11299. Rakennustieto. SISÄILMASTOLUOKITUS 2018. 2018.
15. Tiiviiden asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluohje paine-erojen hallintaan. A-INSINÖÖRIT. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://talo->

[teknikkainfo.fi/sites/default/files/tiiviiden asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluohje paine-erojen hallintaan 19.3.2021.pdf](https://teknikkainfo.fi/sites/default/files/tiiviiden_asuinrakennusten_ilmavaihdon_suunnitteluohje_paine-erojen_hallintaan_19.3.2021.pdf) [viitattu 12.5.2025].

16. Savolainen, J. & Vaittinen, R. Sääntötekniikan perusteita. 5. painos. Opetushallitus. 2003.
17. Johansson, E. Sääntö- ja mittaustekniikka. 1. painos. Iisalmi: IS-VET. 2000.
18. Starr, K. Single Loop Control Methods. ABB Inc. 2021.
19. Harju, T. & Marttinen, A. Sääntöpiirin virityksen perusteet. 1. painos. Control CAD Oy. 2000.
20. Fidelix FX-3000-X. Fidelix Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fidelix.com/wp-content/uploads/fx-3000-x-fi.pdf> [viitattu 7.5.2024].
21. ST 711.16. Sähkötieto. RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN SIGNAALITUNNUSTEN MUODOSTAMINEN. 2013.
22. Takamäki, J. fxPID_tuning_fin_V10. Fidelix Oy. 2008.

ASKELVASTEKOKEEN SUORITTAMINEN JA VIRITYSPARAMETRIT

1. Kirjaa säätöpiirin tiedot toimintaselostuksesta
2. Tarkasta venttiilien ja muiden toimilaitteiden kunto päällisin puolin
3. Tarkasta mittalähettimien ja anturien mittaustulokset verrokkimittauksin
4. Tarkasta, että mittalähettimien skaalaus on tehty oikein
5. Lisää säätöpiirin asetusarvo, oloarvon mittapiste ja toimilaitteen pistetunnus historiaseurantaan
6. Tee avoimen silmukan askelvastekoe hyväksi havaituilla toimilaitteen ohjausarvoilla
7. Poimi historiaseurannasta oloarvon muutos asettumisajan jälkeen
8. Lisää sisäänmenon ja ulostulon alku- ja loppuarvo taulukkolaskentaan
9. Lue taulukosta aikavakiota vastaava järjestelmän oloarvo
10. Määrittele askelvasteen historiakuvasta järjestelmän aikavakio asettamalla hiusristikot ulostulon muutoksen alkupisteeseen ja edellisen kohdan pisteen aika-arvon erotuksena
11. Muokkaa säätöpisteen suhdealuetta ja I-aikaa taulukkoarvojen mukaan
12. Tee suljetun silmukan testi ja valitse tarvittaessa toisen viritysmenetelmän parametrit, mikäli säätö ei täytä vaatimuksia
13. Dokumentoi valitut säätöparametrit ja säätöpiirin trendikuvaaja luovutuskansioon.

ASKELVASTEKOKEEN DOKUMENTTI ITLSELLELUOVUTUSKANSIOON

