



Puhaltimien hankintaopas

11/2020

Kuva: Istocok

Puhaltimien hankintaopas

Ei julkaista painotuotteena

Puhaltimien hankintaopas

Motiva Oy

Copyright Motiva Oy, Helsinki, 11/2020

Esipuhe

Tässä oppaassa ohjeistetaan energiatehokkaiden puhaltimien hankintaa. Opas on suunnattu teollisuuden ja kiinteistösektorin puhaltimien hankinnasta vastaaville henkilöille. Sitä voidaan käyttää yritysten korvaus- ja uusintainvestointien hankintaohjeiden päivittämiseen, jotta niissä huomioitaisiin hankintojen energiatehokkuus ja elinkaarikustannukset. Oppaassa annetut suositukset perustuvat kirjallisuuteen sekä konsulttien, laitetoimittajien ja käyttäjien kokemuksiin.

Puhaltimien hankinta voi lähteä liikkeelle uudisrakentamisen tarpeista tai vanhojen puhallinkohteiden korvaus- tai huoltotarpeesta. Oppaassa kuvataan tärkeimmät hankintaprosessin vaiheet huomioimalla erityisesti hankittavan puhaltimen tai järjestelmän energiatehokkuus. Puhaltimien hankintaprosessi voi olla yksinkertainen tai hyvin moninainen ja vaihteleva. Pienessä mitakaavassa se voi tarkoittaa vanhan puhaltimen korvaamista samanlaisella suoraan hyllystä löytyvällä puhaltimella. Toisaalta se voi tarkoittaa suuren puhaltimen tai useiden puhaltimien kokonaisuuden hankintaprosessia, jossa turvaudutaan ulkopuolisiin asiantuntijoihin suunnittelussa, hankinnassa, asennuksessa ja käyttöönotossa.

Tässä oppaassa keskitytään erityisesti siihen, kuinka varmistetaan hankittavan puhallinjärjestelmän energiatehokkuus. Tarkoituksena on, että yritysten käyttöön saadaan sellaista hankintoihin liittyvää tietoutta, jonka avulla tulevat puhallinvalinnat johtavat pidentyneeseen laitteiden kestoikään ja pienempään sähkönkulutukseen. Puhaltimien elinkaarikustannuksista merkittävä osa syntyy käytön aikana, joten puhallinjärjestelmän energiatehokkuudella on todella merkitystä.

Oppaan on toteuttanut Elomatic Oy Motiva Oy:n tilauksesta. Opas on osa Motivan ja yritysten yhteisen Energiatehokkaat sähkökäytöt-hankkeen tulospäätösmateriaaleja. Hankkeen tulosten avulla tuetaan energiatehokkuussopimuksen toimeenpanoa. Hankkeessa olivat mukana Ahlstrom-Munksjö Glassfibre Oy, Metsä Board Oy, Sinebrychoff Supply Company Oy, ABB Oy, Koja Oy ja Sulzer Pumps Finland Oy. Hanketta rahoittivat Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry, Energiavirasto sekä hankkeeseen osallistuneet yritykset.

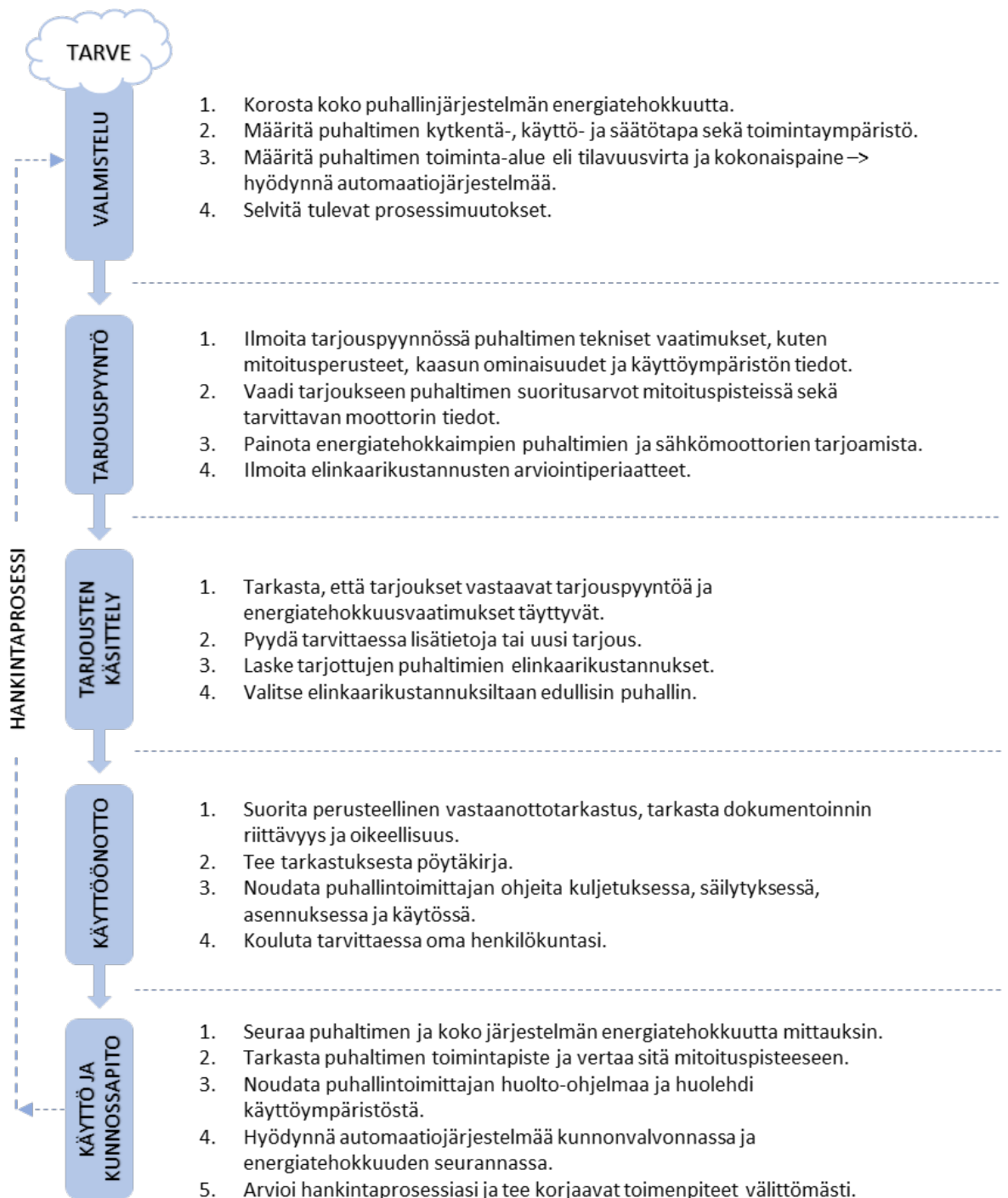
Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	4
1 Puhallinjärjestelmät	7
1.1 Puhallintyyppit	7
1.2 Puhaltimien säätötavat	7
1.3 Puhaltimen ominaiskäyrät	9
1.4 Puhaltimien kytkentätavat	11
1.5 Puhaltimien käyttötavat	13
1.6 Ecodesign-vaatimukset ja lainsäädäntö	14
1.6.1 Puhaltimet	14
1.6.2 Ilmanvaihtokoneet	14
1.7 Puhaltimen tehontarve	15
2 Hankinnan valmistelu	17
3 Hankinta	20
3.1 Tarjouspyyntö	20
3.2 Tarjous	21
3.3 Tarjousten käsittely	21
3.4 Tarjousten vertailu ja puhaltimen valinta	22
4 Hankinnan jälkeen	24
4.1 Vastaanottotarkastus	24
4.2 Takuu aika	24
4.3 Laitteiston käyttöönotto ja seuranta	25
4.4 Käytönaikainen kunnossapito	25
Lähteet	27

Liitteet:

LIITE A. Puhallintarjousten esimerkkitarjous

LIITE B. EU-asetuksen 327/2011 määrittämät energiatehokkuuden minimivaatimukset
0,125...500 kW:n puhaltimille (EU 327/2011, liite 1)



Käsitteet ja lyhenteet

Käsite	Selitys
Elinkaarikustannus	Laitteiston elinkaaren aikana syntyneet kustannukset sisältäen mm. valmistuksen, investoinnin, energian, työkalut, huollot, laitteen hävittämisen jne.
Energiatehokkuus	Tuotannon tai tuloksen suhde käytettyyn energiaan.
Hankinta	Prosessi, jonka tarkoituksena on saada tuotantolaitte yrityksen käyttöön. Hankinta alkaa ideasta hankkia laite ja päättyy takuuajana havaittujen virheiden asianmukaiseen korjaukseen.
Moottorin hyötysuhde	Moottorin akselilta saadun tehon suhde verkosta otettuun sähkötehoon.
Puhaltimen hyötysuhde	Puhaltimen kaasuun siirtämän tehon suhde puhaltimen akselitehoon.
Puhaltimen hyötyteho	Kaasun massavirtaan puhaltimessa siirtyvä teho.
Puhaltimen siipipyöräteho	Siipipyörän pyörittämiseen tarvittava teho, joka on puhaltimessa tapahtuvien virtaus-tekniisten häviöiden verran suurempi kuin hyötyteho.
Puhaltimen akseliteho	Akselin pyörittämiseen vaadittava teho, joka on laakerien sekä esimerkiksi kytkimen tehohäviön verran siipipyörätehoa suurempi.
Puhaltimen kokonaispaine	Puhaltimen paine- ja imuaukoilla vallitsevien kaasun kokonaispaineitten erotus.

1 Puhallinjärjestelmät

Puhaltimia hankitaan erilaisiin tuotantolaitosten prosesseihin ja kiinteistöjen ilmanvaihtojärjestelmiin. Hankinnat voivat olla uusinvestointeja tai korvaavia investointeja vanhojen laitteiden uusimiseksi. Puhallinjärjestelmien energiankulutuksen arvioidaan olevan noin 10 % kunta- ja teollisuussektorin energiankulutuksesta ja puhallinjärjestelmien energiatehokkuudessa on usein parannettavaa¹.

Puhaltimien hankinnan yhteydessä tehdään kauaskantoisia päätöksiä sekä puhaltimien että järjestelmien energiatehokkuudesta ja energiankulutuksesta. Tämän takia on erityisen tärkeää valmistella hankinnat huolella.

1.1 Puhallintyyppit

Teollisuuden prosesseissa ja kiinteistöjen ilmanvaihdossa vaatimukset esimerkiksi puhaltimen paineentuotolle ja tilavuusvirralle voivat olla hyvin vaihtelevia. Tästä syystä eri tarkoituksiin onkin olemassa erilaisia puhallintyyppejä. Tyypillisiä teollisuudessa ja kiinteistöissä käytettyjä puhallintyyppejä ovat aksiaali- ja keskipakopuhaltimet. Muita puhallintyyppejä ovat sekavirtaus- ja risti-virtapuhaltimet.

Aksiaalipuhaltimia käytetään mm. kiinteistöjen ilmanvaihtojärjestelmissä, savukaasujen poistopuhaltimina ja jäähdytysjärjestelmissä lauhdutinpuhaltimina. Aksiaalipuhaltimessa kaasu liikkuu siipipyörän pyörimisakselin suuntaisesti. Aksiaalipuhaltimen etuna on, että se muodostaa tasaisen virtausprofiilin kanavassa, mikä minimoi virtaushäviöitä. Niissä voidaan käyttää myös integroituja EC-moottoreita, jotka mahdollistavat kompaktin rakenteen ja hyvän säädettävyyden ilman taajuusmuuttajaa. EC-moottorilla varustettu aksiaalipuhallin onkin hyötysuhteeltaan järkevä vaihtoehto, kun moottorin kokoluokka on enintään 5 kW. EC (Electronically Commutated) -moottorit ovat harjattomia tasavirtamoottoreita. EC-moottoriin integroitu elektroniikka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja säätää puhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla moottorin saamaa virtaa.

Keskipako- eli radiaalipuhaltimia käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan suurempaa paineen tuottoa esimerkiksi kanavisto- ja lämmönvaihtimien aiheuttamien painehäviöiden voittamiseen. Keskipakopuhaltimessa kaasu johdetaan siipipyörään pääasiassa akselin suuntaisesti ja johdetaan pois kohtisuoraan akseliin nähden. Keskipakopuhallinta suositetaan etenkin prosessi-ilmanvaihdon ratkaisuisissa, joissa olosuhteet voivat olla vaativia.

1.2 Puhaltimien säätötavat

Puhaltimien säätöön käytettävät pääasialliset säätötavat ovat

¹ Tamminen, J., Variable speed drive in fan system monitoring. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2013. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/93928>

- Johtosiipisäätö
- Kuristussäätö
- Pyörimisnopeussäätö
- Siipikulmasäätö (vain aksiaalipuhaltimilla)

Johtosiipisäätöä käytetään useammin keskipakopuhaltimissa kuin aksiaalipuhaltimissa. Siinä puhaltimen imupuolelle asennetaan johtosiipisäädin, joka aiheuttaa ilmavirtaan puhaltimen siipipyörän suuntaisen pyörimisliikkeen, mikä vähentää puhaltimen kuormaa sekä tilavuusvirtaa ja painetta. Johtosiipisäätö on energiatehokas tapa säätää virtausta 80 – 100 % virtausalueella, mutta pienemmällä virtauksella säätötavan energiatehokkuus heikkenee².

Kuristussäädössä virtausta rajoitetaan säätöpellillä tai muulla virtaussäätimellä pienentämällä virtausaukkoa. Kun virtausaukko pienenee, tilavuusvirta pienenee ja paine kasvaa. Kuristussäätö kasvattaa systeemin vastusta, mikä lisää puhaltimen kuormaa. Tällöin puhaltimen toimintapiste siirtyy ominaiskäyrää pitkin vasemmalle, jolloin sen energiatehokkuus heikkenee³.

Puhaltimen pyörimisnopeuden säädössä (=kierroslukusäätö) muutetaan nimen mukaisesti puhaltimen pyörimisnopeutta, jolloin puhallin saadaan toimimaan uusilla toiminta-arvoilla lisäämättä merkittävästi häviöitä. Portaattainen pyörimisnopeussäätö toteutetaan yleensä kaksi- tai useampinopeuksisella moottorilla. Portaaton pyörimisnopeussäätö voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalla (invertteri), nestekytkimellä (hydraulikytkin) tai käyttämällä EC-moottoria. Kierroslukusäätöisen puhaltimen hyötysuhde pysyy korkeana, kun kierrosluvut ovat lähellä mitoituspistettä. Kun toimintapiste siirtyy kierrosluvun muuttuessa kauemmaksi mitoituspisteestä, järjestelmän hyötysuhde heikkenee.

EC-moottorilla varustettuja puhaltimia käytetään usein kiinteistöjen ilmanvaihtopuhaltimissa ja jäähdytysjärjestelmien lauhdutinpuhaltimissa alle 5,5 kW:n kokoluokassa. EC-moottorin elektroniikka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja säätää puhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla moottorin saamaa virtaa⁴.

Taajuusmuuttajat ovat nykyisin ensisijainen keino pyörimisnopeussäätöön suuremmassa kokoluokassa. Taajuusmuuttajalla muutetaan puhaltimen sähkömoottorin käyttämän sähkönn taajuutta, jolloin pystytään vaikuttamaan moottorin pyörimisnopeuteen ja siten myös puhaltimen pyörimisnopeuteen.

Vain aksiaalipuhaltimille soveltuva siipikulmasäätö on myös energiatehokas säätötapa. Siinä puhaltimen siipien kulmaa säädetään tilavuusvirran tarpeen mukaan. Siipikulmasäätö vaikuttaa moottorin kuormaan ja kaasun siirrettävään energiaan. Siipikulmasäädön hyötysuhde on samaa luokkaa taajuusmuuttajasäädön kanssa⁵.

Kuvassa 1 esitetään eri säätötapojen vaikutusta puhaltimen energiatehokkuuteen. Kuvaajan vaaka-akselilla on kaasun tilavuusvirta ja pystyakselilla puhaltimen siipipyöräteho. Kuvan mukaan

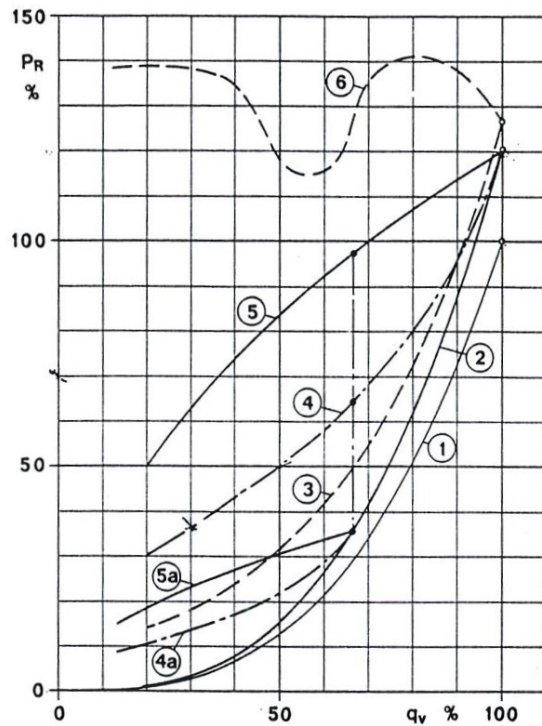
² Improving Fan System Performance: A Sourcebook for Industry. U.S. Department of Energy, 2003. <https://www.energy.gov/eere/amo/downloads/improving-fan-system-performance-sourcebook-industry>

³ Ks. alaviite ²

⁴ Koppanen V., Säädettyjen sähkömoottoreiden vertailu. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2015. <https://www.theseus.fi/handle/10024/91900>

⁵ Ks. alaviite ²

energiätehokkuudeltaan paras tapa säätöön on pyörimisnopeussäätö ja heikoin tapa kuristussäätö. Vertailussa on käytetty siipipyöräteholtaan noin 20 – 30 kW:n puhaltimia.

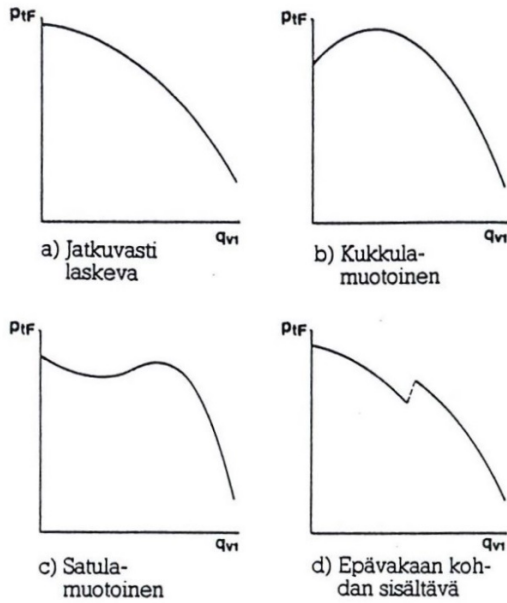


Kuva 1. Eri säätötapojen vaikutus puhaltimen siipipyörätehoon [4, 57.]

1. Häviötön hyötyteho pyörimisnopeussäädössä
2. Keskipakopuhallin; pyörimisnopeussäätö
3. Aksiaalipuhallin; siipikulmasäätö
4. Keskipakopuhallin; johtosiipisäätö
5. Keskipakopuhallin kaksinopeuksisella moottorilla; johtosiipisäätö
6. Keskipakopuhallin; kuristussäätö
7. Keskipakopuhallin kaksinopeuksisella moottorilla; kuristussäätö
8. Aksiaalipuhallin; kuristussäätö

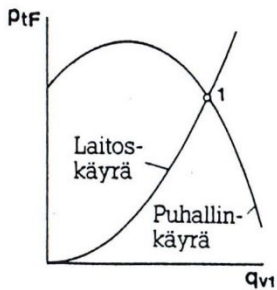
1.3 Puhaltimen ominaiskäyrät

Puhaltimen sopivuus tiettyyn kohteeseen riippuu puhallinkäyrän muodosta. Kuvassa 2 esitetään neljä usein esiintyvää puhallinkäyrätyyppiä. Kuvaajien vaaka-akseli kuvaa kaasun tilavuusvirtaa ja pystyakseli puhaltimen kokonaispainetta eli puhaltimen tuottamaa paineenkorotusta.



Kuva 2. Erityyppisiä puhallinkäyriä⁶

Kuvassa 3 samaan kuvaajaan on piirretty puhallinkäyrän lisäksi kanaviston vastuskäyrä (laitoskäyrä). Kun puhallinkäyrä ja kanaviston vastuskäyrä leikkaavat vain yhdessä pisteessä, puhallin toimii kohteessa hyvin.



Kuva 3. Puhallinkäyrä ja laitoskäyrä (kanaviston vastuskäyrä)⁷

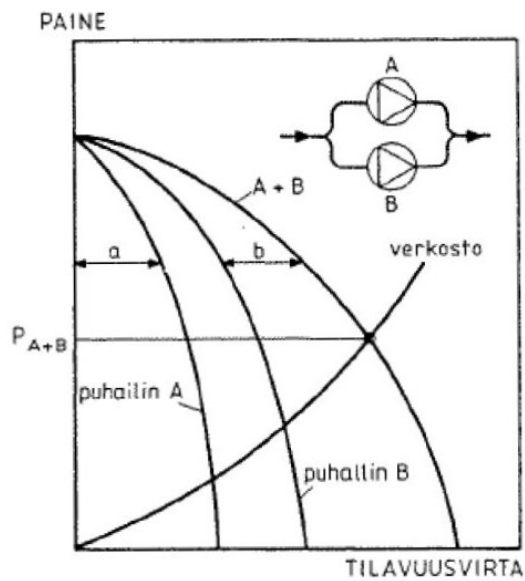
Mikäli puhallinkäyrässä on epävakaa kohta, kuten aksiaalipuhaltimilla usein on, täytyy puhaltimen toimintapisteen osua riittävän kauas epävakaasta kohdasta, jotta puhallin toimii halutusti.

⁶ Pukkila, O. Puhallintekninen käsikirja. Ilmateollisuus Oy, 1986.

⁷ Ks. alaviite ⁶

Puhaltimet toimivat parhaiten lähellä mitoituspistettä. Pyörimisnopeussäädetyillä puhaltimilla optimaalinen alue on kohtuullisen laaja, mutta pienillä pyörimisnopeuksilla puhalluksen hyötysuhde alkaa laskea. Kytkemällä puhaltimet rinnan tai sarjaan, saadaan ne toimimaan paremmin optimaalialueella järjestelmissä, joissa tarvittava ilmavirtaus tai paine vaihtelevat suuresti. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty rinnan- ja sarjaankytkennän vaikutus puhaltimien toimintaan.

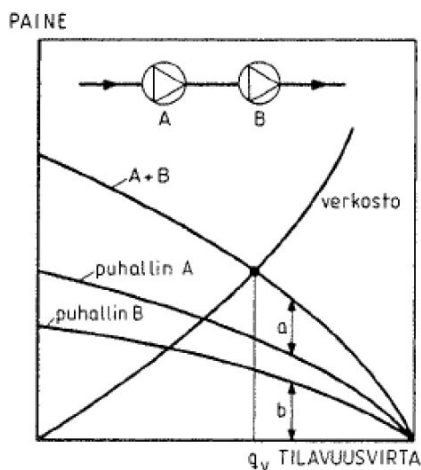
Rinnan kytketyillä puhaltimilla paineentuotto säilyy samana kuin yksittäisellä puhaltimella, mutta tilavuusvirraksi tulee molempien puhaltimien painetta vastaavat tilavuusvirrat yhteenlaskettuna.



Kuva 4. Puhaltimien rinnankytkennän vaikutus tilavuusvirtaan ja paineentuottoon⁸

Sarjaan kytketyt puhaltimet ovat samassa linjassa peräkkäin, jolloin ilma kulkee ensimmäisen puhaltimen painepuolelta seuraavan imupuolelle. Sarjaan kytketyissä puhaltimissa tuottoa vastaavat paineet lasketaan yhteen eli tarvittava paineentuotto jaetaan useamman puhaltimen osalle.

⁸ Seppänen O., Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-liitto ry. 4. painos, 2008.



Kuva 5. Puhaltimien sarjaankytkennän vaikutus tilavuusvirtaan ja paineentuottoon⁹

Viime vuosina on kehitetty uudenlaisia puhallinseiniä, joita käytetään erityisesti ilmanvaihtolaitteissa. Niissä yksi suuri puhallin on korvattu usealla rinnakkain asennetulla pienikokoisella EC-puhalltimella. Ratkaisu säästää tilaa, minkä lisäksi se on toimintavarma ja energiatehokas. Puhallinseinä tuo useita etuja verrattuna perinteiseen yksittäiseen puhalttimeen. Esimerkiksi ilmavirta jakautuu tasaisemmin, mikä johtaa parempaan ilman suodatukseen ja lämmönsiirtoon sekä pienempään painehäviöön. Lisäksi useampi pienikokoinen puhallin on helpompi asentaa sekä huoltaa, jolloin järjestelmän kustannukset jäävät pienemmiksi. Kuvassa 6 esitetään puhallinseinän rakenne ja ilmavirran jakaantuminen verrattuna perinteiseen keskipakopuhalttimeen¹⁰.



Kuva 6. Puhallinseinä ja perinteinen IV-puhallin [11]

⁹ Seppänen O., Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-liitto ry. 4. painos, 2008.

¹⁰ Optimoidut puhallinseinät ilmanvaihtolaitteisiin. Ebm-papst Oy, 2017. <https://www.ebmpapst.fi/fi/uutiset/Optimoidut-puhallinseinat-ilmanvaihtolaitteisiin>

1.5 Puhaltimien käyttötavat

Taulukkoon 1 on koottu yleisimpiä puhaltimien käyttötapoja sekä niiden ominaisuuksia.

Taulukko 1. Eri käyttötapojen ominaisuuksia¹¹

Käyttötapa	Edut	Haitat	Muuta
Suora-käyttö	Ei voimansiirtohäviöitä Pieni huoltotarve	Kaasun lämpötila ei voi olla korkea (aksiaalipuhaltimilla n. 40°C ja keskipakopuhaltimilla n. 70°C) Puhaltimen pyörimisnopeus aina sama kuin moottorilla	Käytetään alemmilla moottoritehoilla (<50 kW)
Kytkin-käyttö	Vain pienet voimansiirtohäviöt (1...3 %) Pieni huoltotarve Kestää korkeita kaasun lämpötiloja (n. 100°C ilman jäähdytyslaikkoja ja n. 350°C jäähdytyslaikkojen avulla) Pieni huoltotarve	Puhaltimen pyörimisnopeus sidoksissa moottorin pyörimisnopeuteen	Käytetään suurilla moottoritehoilla (>150 kW)
Kiilahihnakäyttö	Kestää korkeita kaasun lämpötiloja kuten kytkinkäyttö Puhaltimen pyörimisnopeus ei riipu moottorin pyörimisnopeudesta Puhaltimen toimintapistettä voidaan muuttaa välityssuhdetta muuttamalla Voidaan valita suurempinopeuksinen ja edullisempi moottori	Voimansiirtohäviöt n. 3...8 % Suurempi huoltotarve	Toimii hyvin alle 150 kW tehoilla
Välivaihdokäyttö	Voimansiirtohäviö pienempi kuin hihnakäytössä mutta suurempi kuin kytkinkäytössä Voidaan valita suurempinopeuksinen ja edullisempi moottori	Kiinteät välityssuhteet	Taloudellinen yli 100 kW:n teholuokassa

¹¹ Pukkila, O. Puhallintekninen käsikirja. Ilmateollisuus Oy, 1986.

Ecodesign-direktiivin vaatimukset ovat erilaiset puhaltimien ja ilmanvaihtokoneiden osalta.

1.6.1 Puhaltimet

EU-asetus N:o 327/2011 määrittää energiatehokkuuden minimivaatimukset 0,125...500 kW:n puhaltimille. Vaatimukset ovat astuneet voimaan vuosina 2013 – 2015. Vaatimuksia ei kuitenkaan sovelleta esimerkiksi kohteisiin, joissa siirrettävän kaasun lämpötila on yli 100°C, mikä rajaa ulos esimerkiksi savukaasupuhaltimet. Myös räjähdysvaarallisten tilojen puhaltimet on rajattu pois.

Asetus määrittää minimivaatimuksia aksiaali-, keskipako-, ristivirtaus- ja sekavirtauspuhaltimien energiatehokkuudelle. Vaatimusten taso vaihtelee riippuen puhallintyyppistä ja puhaltimen liitännätavasta. Vaatimukset esitetään liitteessä B.

1.6.2 Ilmanvaihtokoneet

EU-asetuksessa N:o 1253/2014 on määritelty minimivaatimukset ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuudelle. Nämä vaatimukset on otettu käyttöön vaiheittain vuosina 2016 – 2018. Vaatimukset on jaettu erikseen asuinkiinteistöille (RVU) ja muihin ”ei-asuinkiinteistö” kohteisiin (NRVU). [6]

- Vuoden 2018 alusta alkaen muualle kuin asuntoihin tarkoitetuille ilmanvaihtokoneille (NRVU), on ollut voimassa seuraavat vaatimukset lukuun ottamatta alempana lueteltuja poikkeuksia.
- Kaikki IV-yksiköt, paitsi usealla käyttöalueella (esim. ilmanvaihdossa ja savukaasun poistossa) käytetyt puhaltimet on varustettava portaittaisella tai portaattomalla pyörimisnopeussäädöllä.
- Kaikissa kaksi-ilmavirtaisissa ilmanvaihtokoneissa tulee olla lämmöntalteenottojärjestelmä.
- Lämmöntalteenottoyksikössä tulee olla terminen ohitus eli lämmöntalteenoton säätö välillä 0 – 100 %.
- Kaksi-ilmavirtaisissa IV-yksiköissä nestekiertoisten lämmöntalteenoton hyötysuhde tulee olla vähintään 68 %.
- Kaksi-ilmavirtaisissa IV-yksiköissä muun kuin nestekiertoisten lämmöntalteenoton hyötysuhde tulee olla vähintään 73 %. [7]
- Puhaltimen enimmäisominaistehon SFP_{int_limit} ($W/(m^3/s)$) on oltava
 - Nestekiertoisella LTO-järjestelmällä varustetulla kaksi-ilmavirtaisella IV-yksiköllä
 - $1600 + E - 300 * \frac{q_{nom}}{2} - F, jos q_{nom} < 2 m^3/s$
 - $1300 + E - F, jos q_{nom} \geq 2 m^3/s$
 - Muulla LTO-järjestelmällä varustetulla kaksi-ilmavirtaisella IV-yksiköllä
 - $1100 + E - 300 * \frac{q_{nom}}{2} - F, jos q_{nom} < 2 m^3/s$
 - $800 + E - F, jos q_{nom} \geq 2 m^3/s$
 - 230 yksi-ilmavirtaisissa suodattimen kanssa käytettäviksi tarkoitetuissa IV-koneissa
 - Jossa

- q_{nom} = nimellisilmavirta (m^3/s)
- E = hyötysuhdebonus, joka tarkoittaa ominaissähkötehon korjausarvoa tehokkaamman LTO:n aiheuttaman suuremman painehäviön huomioimiseksi. Hyötysuhdebonuksen laskentaohje esitetään EU-asetuksen 1253/2014 liitteessä III.
- F = suodatinkorjaus (Pa), joka tarkoittaa korjausarvoa, mitä käytetään, jos IV-kone eroaa kaksi-ilmavirtaisen IV-koneen viitekokoopanosta. Korjauskerroimet esitetään EU-asetuksen 1253/2014 liitteessä IX¹².

Nämä vaatimukset eivät kuitenkaan koske seuraavia poikkeuksia:

- Alle 30 W puhaltimet
- Myrkyllisissä, syövyttävissä, paloalttiissa tai ATEX-ympäristössä sijaitsevat puhaltimet
- Häätätilanteet
- Tietty ääriämpötilat
- Syöttöjännite > 1000 V (AC) tai >1500 V (DC)
- Lämmöntalteenottoa varten lämmönsiirtimen tai lämpöpumpun sisältävät laitteistot
- Keittiöpuhaltimet [7]

Myös Suomen rakennuslainsäädäntö ottaa kantaa puhaltimien energiatehokkuuteen. Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) uuden rakennuksen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähkötehon eli SFP-luvun (Specific Fan Power) raja-arvoksi on määrätty $1.8 \text{ kW}/m^3/s$. Vastavasti pelkälle poistoilmajärjestelmälle raja-arvo on $0.9 \text{ kW}/m^3/s$ ¹³. Ominaissähköteho ilmaisee sähköverkosta otetun tehon, joka tarvitaan yhden ilmakuution kuljettamiseen rakennuksen läpi sekunnissa.

1.7 Puhaltimen tehontarve

Alla olevissa yhtälöissä on esitetty puhaltimen tarvitseman tehon laskenta, josta käy ilmi mitkä tekijät vaikuttavat puhaltimen tarvitsemaan tehoon:

$$P_2 = \frac{k_p \cdot q_{v1} \cdot p_{tF}}{\eta_p}$$

Jossa	P_2	Puhaltimen akseliteho [W]
	k_p	Kokoonpuristumiskerroin -
	q_{v1}	Puhaltimen tilavuusvirta [m^3/s]

¹² EU-komission asetus N:o 1253/2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=FI>

¹³ Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 1010/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

P_{tF}	Puhaltimen kokonaispaine [Pa] (imu- ja lähtöpaineen erotus)
η_p	Puhaltimen hyötysuhde [%]

Puhaltimen ottama sähköteho määräytyy yhtälöstä:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m \cdot \eta_s}$$

Jossa	P_1	Puhaltimen ottama sähköteho [W]
	P_2	Puhaltimen akseliteho [W]
	η_m	Sähkömoottorin hyötysuhde [%]
	η_s	Säädön hyötysuhde [%]

Suurin osa puhallinjärjestelmien elinkaarikustannuksista muodostuu energiankulutuksesta. Siksi puhaltimia hankittaessa onkin ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon koko puhallinjärjestelmä kokonaisuutena. Puhaltimen ominaisuudet, kuten käyttövoima, energiatehokkuus ja materiaalivalinnat ovat vain yksi osa koko puhallinjärjestelmän energiatehokkuutta, joten yksittäistä puhallinta on syytä tarkastella aina yhdessä koko puhallinjärjestelmän kanssa. Uusissa järjestelmissä päästään vaikuttamaan parhaiten koko puhallinjärjestelmään ennen puhaltimien valintaa, mutta myös olemassa olevan järjestelmän korvaavaa puhallinta hankittaessa tulisi kiinnittää huomiota koko puhallinjärjestelmän energiatehokkuuteen.

- **Huomioi koko järjestelmän energiatehokkuus jo hankinnan valmistelussa**

Puhaltimen hankintaa valmisteltaessa on tärkeää määritellä puhaltimen käyttötapa. Puhaltimen kytkentä ja säätötapa valitaan tarpeen mukaan. Puhaltimen tilavuusvirran säätötarve riippuu käyttökohteesta ja sovelluksesta. Se voi olla yksittäinen, esimerkiksi mitoitusvirheen korjaamiseksi. Säätötarve voi ilmetä ajoittain, esimerkiksi talvi- ja kesäajan vaihteessa. Toisaalta säätötarve voi olla jatkuvaa esimerkiksi prosessin tilan ylläpitämiseksi. Säätötavan valinnassa on huomioitava hankintakustannuksen lisäksi sen vaikutus energiatehokkuuteen¹⁴.

Tarvittaessa puhaltimia voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan keskenään. Rinnan kytketyt puhaltimet toimivat myös toistensa varalla, jonka takia tärkeissä puhalluskohteissa on usein kaksi rinnakkaista puhallinta. Molemmat puhaltimet voivat olla jopa mitoitettu täydelle puhallustarpeelle, jolloin toisen puhaltimen vikaantumisella ei ole vaikutusta prosessin toimintaan. Pyörimisnopeussäädön käyttöön tulisi aina pyrkiä, elleivät jotkin syyt perustele muuta säätötapaa.

- **Selvitä puhaltimien kytkentä ja käyttötapa**
- **Valitse sopivin säätötapa**

Puhaltimen valinnassa olennaisimpia asioita ovat tarvittava tilavuusvirta ja kokonaispaine sekä niiden vaihteluväli. Toimintapiste tulee valita mahdollisimman lähelle todellista, jotta puhallin toimii mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Prosessi ei toimi alimitoitetulla puhaltimella suunnitellusti, jonka takia puhaltimen riittävä mitoitus tulee varmistaa. Ylimitoidetulla puhaltimella prosessi saadaan toimimaan suunnitellusti, mutta järjestelmä ei toimi energiatehokkaasti. Jos kyseessä on olemassa olevan puhaltimen uusinta, niin dataa tallentava automaatiojärjestelmä on erinomainen apuväline puhaltimen toiminta-alueiden selvittämiseen. Jos automaatiossa ei ole

¹⁴ Fans & Blowers – Energy Efficiency Reference Guide. Ceati International, 2008.
<https://www.saveonenergy.ca/SearchResults?q=fans%26blowers>

tällaista ominaisuutta vielä, niin kannattaa sellaista harkita uuden puhaltimen osalta. Tämä helpottaa käytönaikaista kunnonvalvontaa ja energiatehokkuuden arviointia.

Kaasun virtausnopeus on merkittävässä roolissa puhallinjärjestelmää suunniteltaessa. Kanavakoon ollessa suuri, virtausnopeus pysyy maltillisena, jolloin painehäviöt ja puhaltimelta vaadittava teho ovat pienemmät kuin pienellä kanavakoolla. Energiatehokkuuden kannalta tulisi siis pyrkiä mahdollisimman suureen kanavakokoon, mutta suurempi kanavakoko tarkoittaa samalla suurempia investointikustannuksia ja vaatii enemmän tilaa. Pienen virtausnopeuden etuihin kuuluu myös matala melutaso¹⁵.

Puhallinkäyrät eivät ole lähellekään vakioita, vaan puhaltimen hyötysuhde voi muuttua radikaalistikin, vaikka toimintapiste siirtyisi vain vähän puhallinkäyrällä. Siksi on tärkeää valita kohteeseen puhallin, joka toimii mahdollisimman lähellä optimaalista toimintapistettä¹⁶.

- **Määritä puhaltimen tilavuusvirta, kokonaispaine ja virtausnopeus**
- **Minimoi painehäviöt**
- **Hyödynnä automaatiojärjestelmää**

Puhallinjärjestelmää suunniteltaessa pitää tuntea koko järjestelmän toiminta-arvot ja perusteet kyseisiin toiminta-arvoihin. Puhallinjärjestelmä mitoitetaan koko järjestelmän toiminta-arvoja varten. Jos puhallin hankitaan perehtymättä puhallusprosessin todellisen tarpeen toiminta-arvoihin, saatetaan puhallin hankkia suurin varmuuksin, jolloin puhaltimesta tulee ylimitoitettu. Ylimitoitettu puhallin ei toimi optimaalisella alueella, jolloin sen energiatehokkuus heikkenee merkittävästi. Ylimitoitus on tyypillisesti seuraus alimitoituksen välttämisestä ja varmistamisesta. Tämän takia mitoituksessa tulee välttää moninkertaisia varmuuskertoimia.

Myös oikean kokoisen moottorin valinta on tärkeää puhallinjärjestelmän energiatehokkuuden kannalta. Ylimitoitettu moottori toimii matalalla kuormalla, mikä johtaa huonoon hyötysuhteeseen. Modernit moottorit on suunniteltu toimimaan parhaalla hyötysuhteella kuorman ollessa 75 % maksimikuormasta. Hyötysuhde pysyy kuitenkin hyvänä kuorman ollessa 50 – 100 %. Alle 50 %:n kuormalla moottorin hyötysuhde heikkenee huomattavasti. Hankinnassa on syytä painottaa korkean hyötysuhdeluokan moottoreita¹⁷.

- **Tunne prosessi**
- **Vältä moninkertaisia varmuuskertoimia ja ylimitoittamista**
- **Valitse oikean kokoinen ja tyyppinen moottori**

Puhaltimen mitoituksessa tulee ottaa huomioon todellisen käytön asettamat toimintarajat. Jos nykyinen tuotantoaste poikkeaa tulevaisuuden mitoituskapasiteetista, ei puhallin eikä koko järjestelmä toimi parhaalla toiminta-alueellaan kuluttaen siten tarpeettomasti energiaa. Täten puhaltimen mitoitusarvoja valittaessa pitää tehdä valinta hankitaanko puhallin nykyisille toiminta-arvoille vai ennakoidaanko mitoituksessa tulevaisuuden arvoja. Vanhaa puhallinta uusittaessa on

¹⁵ Fans & Blowers – Energy Efficiency Reference Guide. Ceati International, 2008.

<https://www.saveonenergy.ca/SearchResults?q=fans%26blowers>

¹⁶ Ks. alaviite ¹⁵

¹⁷ Ks. alaviite ¹⁵

aina selvitettävä, vastaako vanhan puhaltimen toiminta-alue sen alkuperäistä mitoitus- ja onko puhallintyyppi kohteeseen sopiva. Mikäli huomataan, ettei vanha puhallin esimerkiksi toimi lähellä mitoituspistettä, voidaan uusi puhallin mitoittaa oikein ja parantaa siten energiatehokkuutta.

Puhaltimen uusinnan yhteydessä on hyvä tarkastella myös siipipyörän muutosmahdollisuus. Mikäli toimintapiste on muuttunut alkuperäisestä mitoituspisteestä ja puhallin toimii pääosin heikolla hyötysuhteella, voi esimerkiksi siipipyörän tai siipikulman muutos olla riittävä toimenpide puhaltimen tehokkuuden nostamiseksi ja eliniän lisäämiseksi.

Prosessissa, jossa tarvittava virtausalue on suuri, puhaltimen mitoittaminen voi olla haastavaa. Jos puhallus toteutetaan yhdellä suurella puhaltimella, se toimii kaukana mitoituspisteestä tilavuusvirran ollessa pieni ja siten johtaa heikkoon hyötysuhteeseen. Käyttämällä yhden suuren puhaltimen sijaan esimerkiksi kahta rinnan- tai sarjaan kytkettyä mitoituspisteen lähellä toimivaa pienempää puhallinta, saadaan järjestelmästä energiatehokkaampi, mutta vastaavasti järjestelmän hankintakustannukset ovat suuremmat.

- **Selvitä tulevat prosessimuutokset**

Puhaltimia hankittaessa tulee prosessin ja puhaltimen toimintaympäristön ominaisuudet ja vaatimukset selvittää mahdollisimman tarkasti. Esimerkiksi vuodenaikojen tai prosessin ajotavan vaihtelun aiheuttamat vaatimukset ovat tärkeä tiedostaa ja ilmoittaa puhallintoimittajalle. On myös tärkeää huomioida puhaltimen toimintaympäristö eli käyttöpaikka ja -lämpötilat sekä esimerkiksi tilan räjähdysvaarallisuusluokitus (ATEX). Tiedossa oleva kanaviston painehäviö ja laitoskäyrä helpottavat puhaltimen valintaa ja mitoitus- ja onko.

Mikäli siirrettävä kaasu on korrosoivaa tai se sisältää epäpuhtauksia kuten pölyä, kiintoainepartikkeleita tai kosteutta, on se huomioitava hankintavaiheessa. Epäpuhtaudet kuluttavat siipipyörää, mikä heikentää puhaltimen tehokkuutta ja voi johtaa epävakaaseen toimintaan. Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan kuitenkin vaikuttaa puhaltimen kestävyys- ja toimintaan.

Puhaltimen tulo- ja painepuolen kanaviston rakenteilla voi olla suuri merkitys puhaltimen tehokkuuteen. Puhaltimen lähellä olevat kanavan osat, kuten jyrkät kulmat, voivat aiheuttaa virtausnopeuden epätasaisuutta tai virtauksen pyörteisyyttä, mikä haittaa puhaltimen toimintaa. Haittoja voidaan ehkäistä välttämällä jyrkkiä kulmia puhaltimen läheisyydessä ja käyttämällä ohjauslevyjä tai virtauksen suoristinta puhaltimen imupuolella¹⁸.

- **Määritä puhaltimen toimintaympäristö**
- **Vältä virtausta häiritseviä komponentteja puhaltimen läheisyydessä**

¹⁸ Fans & Blowers – Energy Efficiency Reference Guide. Ceati International, 2008.
<https://www.saveonenergy.ca/SearchResults?q=fans%26blowers>

3.1 Tarjouspyyntö

Jotta puhallinvalmistaja osaa tarjota asiakkaalle oikean puhaltimen, on tarjouspyynnössä annettava riittävät tiedot kohteesta. Tarjouspyyntöön on hyvä sisällyttää ainakin seuraavat asiat:

- Mitoitusperusteet
 - Käyttökohde
 - Kaasun tilavuusvirta imuaukolla
 - Vaadittava kokonaispaine eli paine-ero puhaltimen yli
 - Ilmakehän paine
 - Myöhemmin toteutettavaksi suunniteltu toimintapisteen muutos
 - Puhaltimien vertailupisteet
 - Energiatehokkuusvaatimukset
- Aineominaisuudet
 - Kaasun nimi tai koostumus
 - Kaasun lämpötila, paine ja tiheys puhaltimen imuaukolla
 - Epäpuhtaudet kaasussa (mekaanisesti kuluttavat, syövyttävät, siipipyörään tarttuvat ym.)
 - Lämpötilarajat
 - Syttymis- ja räjähdysrajat palavilla aineilla
 - Painerajat / vaatimukset
 - Kaasun myrkyllisyys
- Käyttöympäristö
 - Kanaviston rakenne ja vastuskäyrä
 - Puhallussuunta
 - Tiivistystarve (esim. myrkyllinen kaasu)
 - Kipinöimättömyys (räjähdysvaara)
 - Maalausta koskevat vaatimukset
 - Käyttötapa (suora-, hihna-, vaihde- tai kytkinkäyttö)
 - Säättötapa (pyörimisnopeus-, johtosiipisäätö tms.)
 - Käyttömoottorin tiedot (jännite, taajuus, esim. räjähdys suojaus)
 - Ympäristön lämpötila vaihteluineen
 - Äänitekniset vaatimukset
 - Puhaltimen sijoituspaikka
 - Halutut lisälaitteet, kuten tärinänvaimentimet, tarkastusluukku ja vedenpoistoyhde

- Sähkölaitteet
 - Suojaluokka, esim. IP54
 - Käytettävä jännite ja taajuus
 - Vaatimukset sähkömoottorille, painota energiatehokkuutta
- Instrumentointi ja automaatiokytkennät
 - Automaatiojärjestelmään kytkettävien mittaus- ja säätölaitteiden ja tiedonsiirtokaisujen määrittely
 - Mikäli järjestelmän kunnonvalvonta halutaan liittää automaatiojärjestelmään, on tarvittavat anturoinnit ja vaatimukset hyvä ilmoittaa tarjouspyynnössä.
 - Tyypillisesti puhallinjärjestelmästä kannattaa mitata ja kerätä ainakin seuraavat mittaukset; sähköteho/-virta, pyörimisnopeus, tilavuusvirta ja paine, etenkin jos säätöpiiri rakennetaan automaatiojärjestelmään.

Teknisten vaatimusten määrittelyn lisäksi tarjouspyyntöön on hyvä sisällyttää hankinnan yleiset ja taloudelliset asiat sekä vaatimukset:

- Hintaerittely
- Maksuehdot
- Toimitustapa
- Toimitusaika
- Takuut
- Vakuudet
- Tarjousten vertailuperusteet
- Muut ehdot

3.2 Tarjous

Tarjouksen tulee vastata kaikkiin tilaajan tarjouspyynnössä esittämiin vaatimuksiin, minkä lisäksi tarjoukseen tulee sisältyä seuraavat tiedot:

- Tekniset määrittelyt
- Mittapiirustukset
- Tarvittaessa elinkaarilaskelmat ja niiden vertailu eri säätötavoilla
- Tilajavastuulain mukaiset todistukset
- Puhaltimen huolto- ja kunnossapito-ohjeet

3.3 Tarjousten käsittely

Tarjousten käsittely jakautuu kahteen osaan:

- Tarjousten tarkastaminen
- Tarjousten vertailu ja puhaltimen valinta

Ensimmäisessä vaiheessa tarkistetaan, että tarjottu puhallin täyttää tarjouspyynnössä esitetyt vaatimukset ja tarjottu puhallin soveltuu kyseiseen tapaukseen. Kannattaa myös vielä tarkastaa,

että puhallin sopii tilaan mittojensa puolesta ja liitäntä kanavistoon on toteutettavissa. Tarjousten tarkastaminen jakautuu kaupallisten ja teknisten vaatimusten tarkastamiseen.

- **Tarkasta vaatimusten täyttyminen**

Mikäli tarjouksessa on epäselvyyksiä, tai joitain asioita halutaan tarkentaa, voidaan tarjoajan kanssa pitää tarjousneuvottelut, joissa epäselvät asiat selvitetään. Ennen tarjousten hintavertailua pitää tarjousten olla keskenään teknisesti ja kaupallisesti vertailukelpoisia. Mikäli tarjous ei vastaa tarkennuksien jälkeen tarjouspyyntöä, hylätään kyseinen tarjous, eikä sitä oteta hintavertailuun mukaan. Julkisissa hankinnoissa tulee ottaa huomioon julkisia hankintoja koskeva lainsäädäntö.

- **Pyydä tarjoajaa tarkentamaan tarjousta tarvittaessa**
- **Hylkää tarjouspyynnön vastaiset tarjoukset**

3.4 Tarjousten vertailu ja puhaltimen valinta

Puhaltimen investoinnilla on hyvin pieni merkitys sen elinkaarikustannuksissa. Tämän takia pelkkää hintaa ei ole mielekästä käyttää vertailuperusteena, vaan tarjouksia pitää vertailla elinkaarikustannusten avulla.

Elinkaarikustannukset koostuvat investoinnista, käyttövoiman käytöstä sekä tarvittavasta kunnossapidosta. Tyypillisesti kunnossapitoa ei oteta vertailuun mukaan, koska sen arvioiminen on monesti hyvin vaikeaa. Varaosien saatavuus ja puhaltimen huollettavuus ovat kuitenkin merkittävä osa puhaltimen toimintavarmuutta, ja siksi niitä ei kannata kokonaan sivuuttaa hankintapäätöstä tehdessä.

Poikkeustilanteissa voidaan pyytää tarjouksen sisältävän esimerkiksi viitenä ensimmäisenä vuotena tarvittava kunnossapito, jolloin kunnossapito voidaan ottaa vertailuperusteeksi.

Tyypillisesti puhaltimen elinkaarikustannuksiin lasketaan siis investointi ja käyttövoiman eli yleensä sähkön kulutus. Vertailussa investointi voidaan jakaa tarkastelujaksolle tai diskontata tarkastelujakson käyttökustannukset investoinnin kanssa samaan hetkeen. Puhallinta voidaan vertailla yhdessä tai useassa toimintapisteessä.

Vertailu jakautuu seuraaviin osiin:

- Määritetään vertailun lähtötiedot:
 - sähkön hinta
 - tarkastelujakson pituus
 - laskentakorko
- Toiminta-arvot takuupisteissä
 - Kirjataan laskentapohjaan tarjouspyynnössä ilmoitetut vertailupisteet sekä määritetään kunkin pisteen käyttöaika
- Hyötysuhteet tai tehot tarjouksesta
 - Poimitaan laskentaan tarjouksesta taatut toiminta-arvot, kuten hyötysuhde tai sähköteho takuupisteessä.
- Laskenta

- Edellä esitettyjen tietojen perusteella lasketaan pitoajan elinkaarikustannukset kullekin tarjotulle puhaltimelle diskontattuna investointihetkeen. Elinkaarikustannusten perusteella valitaan edullisin puhallin.
- **Vertaile elinkaarikustannuksilla**

Kun puhallin tarvikkeineen on toimitettu sopimuksen mukaisesti, sovitut tarkastukset ja testit on suoritettu hyväksyttävästi, tarkastuksissa ja testeissä havaitut viat ja puutteet on poistettu sekä kaikki asiakirjat on toimitettu, toimituksen vastaanotto katsotaan tapahtuneeksi. Epäolennaiset viat ja puutteet eivät estä vastaanottoa edellyttäen, että suunnitelma vikojen ja puutteiden korjaamiseksi on laadittu ennen vastaanottoa. Ennen vastaanottotarkastusta on syytä varmistaa ajoissa, että muu puhallinjärjestelmä vastaa tarjouspyynnössä kuvattua järjestelmää.

4.1 Vastaanottotarkastus

Vastaanottotarkastuksessa tulee

- tarkastaa, että toimitus sisältää kaiken, mistä on sovittu ja että toimitukset vastaavat sovittua laatua
 - tarkastaa, että laitteisto toimii moitteettomasti tavoitteiden mukaisesti määritetyllä toiminta-alueella
 - tarkastaa ja mitata puhaltimien sähkönkulutus eri toimintapisteissä ja verrata tulosta tarjouksen ja toimituksen yhteydessä toimitettuihin puhallinkäyriin
 - tarkastaa puhaltimien dokumentaation riittävyys ja laatu
 - tarkastaa huolto-ohjeista, että ohjeessa on selostettu selkeästi huoltokohteet, huoltovälit, toimenpiteet sekä varaosat
 - sopia huoltohenkilöstön kouluttamisesta toimitettujen laitteiden huoltoon
 - tehdä pöytäkirja vastaanottotarkastuksesta, johon kirjataan havaitut puutteet.
-
- **Tarkasta toimitus ja tee tarkastuksesta pöytäkirja**
 - **Muista dokumentointi**

4.2 Takuuaika

Takuuaikana ostajalla on vielä mahdollisuus korjauttaa laitteisto toimittajan toimesta, jos laitteisto ei saavuta luvattuja suoritusarvoja. Tarkkaile laitteiston toimintaa ja tee ennen takuuajan päättymistä vastaanottotarkastusta vastaava takuuajan lopputarkastus. Vaadi tarvittaessa korjaustoimenpiteitä.

- **Vaadi takuukorjauksia**

4.3 Laitteiston käyttöönotto ja seuranta

Puhallusprosessin olosuhteet ja vaatimukset puhallinjärjestelmille voivat muuttua ajan myötä. Tämän takia tulisi aika ajoin tarkistaa käytettävien puhaltimien todellinen toimintapiste, onko se vielä suunnitellussa kohdassa ja mikä on nykyisen toimintapisteen hyötysuhde. Puhallin voi toimia teknisesti hyvin, mutta kuitenkin huonolla hyötysuhdealueella.

Määräajoin tulisi tarkastaa/mitata puhaltimen ottama teho eri toimintapisteissä, jotta voidaan varmistua sen toimivan energiatehokkaalla alueella ja olevan kunnossa. Puhallinjärjestelmien toimintapisteen voi muuttua ajan saatossa, jolloin hyvällä hyötysuhteella käyvästä puhaltimesta voi tulla yli- tai alimitoitettu.

Tarkasta ajoittain, onko puhallin pysynyt halutussa toimintapisteessä lähellä optimia. Jos toimipisteen havaitaan olevan siirtynyt pois mitoituspisteestä, sen energiatehokkuus voi olla heikentynyt merkittävästi. Tällöin on tarpeen tarkastella erilaisia vaihtoehtoja toimintapisteen muuttamiseksi. Esimerkiksi aksiaalipuhaltimen siipikulmaa tai hihnapyörien kokoa muuttamalla tai vaihtamalla koko siipipyörä, toimintapiste voidaan saada lähemmäs optimaalista.

Puhaltimen energiatehokkuuden seurantaan hyvä työkalu on automaatiojärjestelmään tehtävä online-laskenta, mikäli tarvittavat mittaukset löytyvät. Esimerkiksi puhallinjärjestelmän hyötysuhteen seuranta vaatisi jatkuvatoimisen paine- ja virtaustiedon puhaltimelta sekä tiedon puhallinta käyttävän moottorin sähkötehosta.

- **Tarkasta vastaako puhaltimen mitoituspiste toimintapistettä**
- **Seuraa puhaltimen energiatehokkuutta**
- **Tarkastele toimintapistemuutoksia**
- **Hyödynnä automaatiojärjestelmää energiatehokkuuden seurannassa**

4.4 Käytönaikainen kunnossapito

Säännöllisellä kunnossapidolla on puhaltimen toimintavarmuuden lisäksi merkittävä vaikutus puhaltimen energiatehokkuuteen. Seuraavat seikat on hyvä tiedostaa puhaltimen kunnossapitotyössä:

- Puhaltimen ja moottorin kiinnitys ja tasapainotus
 - Tarkasta säännöllisesti kiinnitysten kunto ja tiukkuus sekä laitteiden tasapainotus
- Hihnat
 - Tarkasta säännöllisesti hihnan kunto, tiukkuus ja linjaus sekä hihnapyörien kunto.
- Laakerointi
 - Seuraa laakerien kuntoa havainnoimalla laakereiden synnyttämää ääntä, mittamalla niiden lämpötilaa tai käyttämällä värähtelymittaria. Huolehdi laakerien voitelusta valmistajan ohjeen mukaan ja vaihda laakerit tarvittaessa.
- Puhdistus
 - Puhdista säännöllisesti puhaltimen ja järjestelmän osat, jotka altistuvat likaantumiselle. Puhdista ja vaihda suodattimet tarpeeksi usein.
- Vuodot
 - Tarkasta säännöllisesti kanavisto vuotojen varalta. Vuodot heikentävät järjestelmän energiatehokkuutta ja toimintaa.

- Moottorin kunto
 - Noudata moottoritoimittajan kunnossapitosuosituksia. Huolto-ohjelmissa on yleensä esitetty vähimmäistaso moottoreiden kunnossapidolle. Moottorin käyttöolosuhteiden ollessa vaativat tai moottorin luotettavan toiminnan ollessa elintärkeää, moottoritoimittajan suosittelemien huoltotöiden lisäksi laitteiston kunnossapitoa on täydennettävä omilla tarkistuksilla ja kunnossapitotöillä. Esimerkiksi virran, loistehon ja värinän jatkuva mittaaminen voivat auttaa kunnossapidon tarpeen ennakoinnissa.

Puhaltimilta ja puhallinjärjestelmistä saatavaa mittaustietoa voidaan hyödyntää puhaltimien tehokkuuden seurannan lisäksi puhaltimien ja moottoreiden kunnonvalvonnassa. Järjestelmän toiminnan jatkuva seuranta auttaa määrittelemään hyötysuhteen sekä kunnonvalvonnan tunnuslukuja ja raja-arvoja, joiden avulla puhaltimien ajomalleja voidaan optimoida ja ennakoida kunnossapidon tarpeita. Kerätyn mittaustiedon turvin voidaan myös tarkentaa järjestelmän mitoitusvaatimuksia ja näin korjata mahdollisia puutteita seuraavien hankintojen yhteydessä.

- **Muista kunnossapito**
- **Hyödynnä automaatiojärjestelmää kunnonvalvonnassa**

Lähteet

Pukkila, O. Puhallintekninen käsikirja. Ilmateollisuus Oy, 1986.

Seppänen O., Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-liitto ry. 4. painos, 2008.

Internet-lähteet

- Tamminen, J., Variable speed drive in fan system monitoring. Diplomityö, Lappeenranta teknillinen yliopisto, 2013. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/93928>
- Improving Fan System Performance: A Sourcebook for Industry. U.S. Department of Energy, 2003. <https://www.energy.gov/eere/amo/downloads/improving-fan-system-performance-sourcebook-industry>
- Koppanen V., Säädettyjen sähkömoottoreiden vertailu. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2015. <https://www.theseus.fi/handle/10024/91900>
- EU-komission asetus N:o 327/2011. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0327&from=FI>
- EU-komission asetus N:o 1253/2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=FI>
- Muualle kuin asuntoihin tarkoitettut ilmanvaihtokoneet – Ecodesign Lot 6. Swegon Oy. http://www.swegongroup.com/PageFiles/98423/Ecodesign_Lot6.pdf
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 1010/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- Fans & Blowers – Energy Efficiency Reference Guide. Ceati International, 2008. <https://www.saveonenergy.ca/SearchResults?q=fans%26blowers>
- Optimoidut puhallinseinät ilmanvaihtolaitteisiin. Ebm-papst Oy, 2017. <https://www.ebmpapst.fi/fi/uutiset/Optimoidut-puhallinseinat-ilmanvaihtolaitteisiin>

LIITE A. Puhallintarjousten esimerkkivertailu

Tässä liitteessä on esitetty yksinkertainen puhallintarjousten vertailu. Vertailu on tehty yhdessä mitoitusasteessa, kuten vertailu tavallisesti tehdään. Mikäli puhallinta käytetään useammalla tyypillisillä toiminta-arvoilla, voidaan elinkaarikustannukset laskea tarkemmin ottaen huomioon useampi toimintapiste. Tällöin jokaiselle toimintapisteelle valitaan oma vuotuinen käyttöikä, joka on mahdollisimman lähellä todellisuutta.

Pitoaika valitaan puhaltimen oletetun käyttöajan mukaan ja laskentakorko investoinnin tuotto-odotuksen perusteella.

Lähtöarvot

Sähkön hinta	€/MWh	80
Käyttöaika	h/a	8000
Pitoaika	a	10
Laskentakorko	%	10

Tarjouksesta poimitaan puhaltimen investointi sekä määritetään puhaltimen ottama teho tyypillisessä toimintapisteessä. Tavallisesti puhaltimen ottama teho saadaan suoraan tarjouksesta, mutta vaihtoehtoisesti se voidaan laskea myös hyötysuhteen avulla.

		Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4
Puhaltimen hankintahinta	€	8 000	5 000	12 000	9 000
Puhaltimen ottama sähköteho	kW	23	22	16	17

Tarjousten vertailu aloitetaan laskemalla diskonttaustekijä jaksollisille suorituksille kaavalla $\frac{(i+1)^n-1}{i(1+i)^n}$, jossa i = laskentakorkokanta ja n = pitoaika.

Diskonttaustekijällä kertomalla tulevaisuuden kustannukset saadaan muutettua nykyarvoon. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää suoraan esimerkiksi taulukkolaskennan netto nykyarvolaskentaa.

Vuotuinen sähkönkulutus lasketaan kertomalla puhaltimen ottama teho toimintapisteessä kyseisen tehon käyttöajalla.

Esimerkiksi tarjoukselle 1: $23 \text{ kW} \cdot 8\,000 \text{ h/a} = 184\,000 \text{ kWh/a} = 184 \text{ MWh/a}$

Vuotuinen käyttökustannus lasketaan kertomalla käytetty sähkönkulutus sähkön hinnalla.

Esimerkiksi tarjoukselle 1: $184 \text{ MWh/a} \cdot 80 \text{ €/MWh} = 14\,720 \text{ €/a}$

Vuotuiset kustannukset diskontataan nykyhetkeen, jolloin käyttökustannukset voidaan laskea yhteen investoinnin kanssa elinkaarikustannuksiksi.

Esimerkiksi tarjoukselle 1: $14\,720 \text{ €/a} \cdot 6,14 \text{ a} = 90\,448 \text{ €}$

Esimerkiksi tarjoukselle 1 elinkaarikustannukset: $90\,448 \text{ €} + 8\,000 \text{ €} = 98\,448 \text{ €}$

Tarjoukset vertaillaan kyseisten laskettujen elinkaarikustannusten perusteella. Hankintasuositus annetaan puhaltimista, joka on elinkaarikustannuksiltaan edullisin eli tässä tapauksessa tarjouksen 3 puhaltimesta.

		Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4
Diskonttaustekijä	6,14				
Investointi	€	8 000	5 000	12 000	9 000
Sähkön kulutus	MWh/a	184	176	128	136
Sähkön kustannus	€/a	14 720	14 080	10 240	10 880
Elinkaarikustannukset (nykyarvo)	€	98 448	91 516	74 920	75 853

Esimerkkivertailusta huomataan, että investoinnin merkitys puhaltimen elinkaarikustannuksissa on pieni. Kallein puhallin on elinkaarikustannuksiltaan halvin.

**Liite B. EU-asetuksen 327/2011 määrittämät energiatehokkuuden minimivaatimukset
0,125...500 kW:n puhaltimille (EU 327/2011, liite 1)**

Taulukko 2

Puhaltimien energiatehokkuutta koskevat vähimmäisvaatimukset toisessa vaiheessa 1 päivästä tammikuuta 2015

Puhallintyytit	Liitântätapa (A–D)	Hyötysuhdeluokka (staattinen tai kokonaishyötysuhde)	Tehoalue P kilowatteina	Tavoite-energiatehokkuus	Hyötysuhdetaso (N)
Aksiaalipuhallin	A, C	staattinen	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	40
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	kokonaishyötysuhde	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Eteenpäin kaartuvilla siivillä varustettu keskipakopuhallin ja radiaalsiivillä varustettu keskipakopuhallin	A, C	staattinen	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	44
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	kokonaishyötysuhde	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	49
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Taaksepäin kaartuvilla siivillä varustettu koteloimaton keskipakopuhallin	A, C	staattinen	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Taaksepäin kaartuvilla siivillä varustettu koteloitu keskipakopuhallin	A, C	staattinen	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	kokonaishyötysuhde	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	64
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Sekavirtauspuhallin	A, C	staattinen	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	kokonaishyötysuhde	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Ristivirtapuhallin	B, D	kokonaishyötysuhde	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{tavoite}} = 1,14 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	21
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{tavoite}} = N$	

Taulukossa käytettävät määritelmät (EU 327/2011, liite 1):

1. 'Liitântätapa' tarkoittaa testi-, liitântä- tai käyttöjärjestelyä, jolla määritellään testattavan puhaltimen imu- ja paineolosuhteet.
2. 'Liitântätapa A' tarkoittaa järjestelyä, jossa puhallin on vapaasti imevä ja vapaasti puhaltava.

3. 'Liitäntätapa B' tarkoittaa järjestelyä, jossa puhallin on vapaasti imevä ja sen paineaukkoon on kiinnitetty kanava.
4. 'Liitäntätapa C' tarkoittaa järjestelyä, jossa puhaltimen imuaukkoon on kiinnitetty kanava ja puhallin on vapaasti puhaltava.
5. 'Liitäntätapa D' tarkoittaa järjestelyä, jossa puhaltimen imu- ja paineaukkoon on kiinnitetty kanava.
6. 'Hyötysuhdeluokka' tarkoittaa puhaltimen kaasunpoistossa käytettävää energiamuotoa, jota käytetään puhaltimen energiatehokkuuden, joko staattisenhyötysuhteen tai kokonaishyötysuhteen, määrittämisessä, jossa
 - 'puhaltimen staattista painetta' (psf) on käytetty puhaltimen kaasutehon määrittämiseen puhaltimen staattisen hyötysuhteen määrittämiseen käytettävässä yhtälössä;
 - 'puhaltimen kokonaispainetta' (pf) on käytetty puhaltimen kaasutehon määrittämiseen kokonaishyötysuhteen määrittämiseen käytettävässä yhtälössä.
7. 'Staattinen hyötysuhde' tarkoittaa puhaltimen energiatehokkuutta, joka perustuu puhaltimen staattisen paineen (psf) mittaukseen.
8. 'Puhaltimen staattinen paine' (psf) tarkoittaa puhaltimen kokonaispainetta (pf), josta vähennetään puhaltimen dynaaminen paine korjattuna Machin kertoimella.
9. 'Tyhjäkäyntipaine' tarkoittaa painetta, joka mitataan virtaavan kaasun pisteessä, jos se pysähtyy isentrooppisen prosessin kautta.
10. 'Dynaaminenpaine' tarkoittaa painetta, jonka laskenta perustuu massavirtaan, kaasun keskimääräiseen tiheyteen puhaltimen paineaukolla ja paineaukon pinta-alaan.
11. 'Machin kerroin' tarkoittaa tietyssä pisteessä vallitsevaan dynaamiseen paineeseen sovellettavaa korjauskerrointa, ja se määritellään tyhjäkäyntipaineeksi, josta on vähennetty paine, joka on suhteutettu absoluuttiseen nollapaineeseen, joka kohdistuu pisteeseen, joka on levossa suhteessa sitä ympäröivään kaasuun, jaettuna dynaamisella paineella.
12. 'Kokonaishyötysuhde' tarkoittaa puhaltimen energiatehokkuutta, joka perustuu puhaltimen kokonaispaineen (pf) mittaukseen.
13. 'Puhaltimen kokonaispainetta' (pf) tarkoittaa puhaltimen paineaukolla vallitsevan tyhjäkäyntipaineen ja puhaltimen imuaukolla vallitsevan tyhjäkäyntipaineen välistä erotusta.
14. 'Hyötysuhdetaso' tarkoittaa parametria, jota käytetään tietyn ottotehon puhaltimen tavoite-energiatehokkuuden laskennassa sen optimaalisessa energiatehokkuuspisteessä (ilmaistaan parametrina "N" puhaltimen energiatehokkuuden laskennassa).
15. 'Tavoite-energiatehokkuus' η_{tavoite} tarkoittaa vähimmäisenergiatehokkuutta, joka puhaltimen on saavutettava täyttääkseen vaatimukset ja joka perustuu puhaltimen ottotehon sen optimaalisessa energiatehokkuuspisteessä, missä η_{tavoite} on arvo, joka saadaan liitteessä II olevassa 3 kohdassa olevasta asianmukaisesta yhtälöstä, kun energiatehokkuutta koskevassa kaavassa käytetään sovellettavaa hyötysuhdetason kokonaislukua N (liitteessä I olevan 2 kohdan taulukot 1 ja 2) ja puhaltimen kilowatteina ilmaistua ottotehoa $P_{e(d)}$ sen optimaalisessa energiatehokkuuspisteessä.
16. 'Taajuusmuuttaja' tarkoittaa moottoriin ja puhaltimeen integroitua – tai yhtenä järjestelmänä toimivaa – sähköistä tehonmuunninta, joka jatkuvasti muuntaa sähkömoottoriin syötettävää sähkötehoa, jotta moottorin mekaanista lähtötehoa voidaan ohjata moottorilla käytettävän kuorman momentti- ja nopeusominaisuuksien mukaan, lukuun ottamatta jännitkyksensäätimiä, joissa muutetaan ainoastaan moottorin syöttöjännitettä.

17. 'Yleinen hyötysuhde' on joko 'staattinen hyötysuhde' tai 'kokonaishyötysuhde' riippuen siitä, kumpaa sovelletaan.

