

Energiatehokas jäähdytys ja kylmäainelainsäädännön muutokset

Motiva Energiakatselmoijien ajankohtaistilaisuus 2.9.2025

Markus Laine
Erikoissuunnittelija
Kylmätekniikka ja lämpöpumput



Sisältö

- Johdanto
 - Terminologiaa
- Energiatehokas jäähdytys
 - Kylmäkoneen hyötysuhde
 - Vapaajäähdytys vai lämmöntalteenotto?
- EU:n F-kaasuasetuksen päivitys 2024
- Miten sääntelyn muutokset vaikuttavat jäähdytys- ja lämpöpumppujärjestelmiin?

Esittely

- Markus Laine
- DI Ympäristö- ja energiatekniikka, Tampereen Teknillinen Yliopisto 2016
- Erikoissuunnittelija, A-insinöörit
 - Kylmätekniikka ja lämpöpumput
 - Jäähdytys, ilmanvaihto- ja lämmitystekniikka
 - Jäähallit
- Suunnittelukokemusta 10 vuotta. Taustaa myös IV-suunnittelusta, esim. sairaalakohteet
- Kylmäsuunnittelijapätevyys FISE b

Johdanto, käsitteitä

- **Kylmäaine**

- Kylmäkoneiston tai lämpöpumpun suljetussa kiertoprosessissa (höyryprosessissa) kiertävä aine, joka höyrystyy ja lauhtuu eri puolella prosessia. Samalla se siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpötilatasosta korkeampaan.

- **Kylmäliuos / jäähdytysneste**

- Lämmönsiirtoneste välillisessä jäähdytysjärjestelmässä. Liuos on veden ja jäätymisenestoaineen seos. Esim. vesi-glykoli, vesi-etanoli, ammoniakkivesi, kaliumformiaatti (Freezium) jne.

- **GWP = Global Warming Potential**

- GWP-arvo ilmoittaa, miten voimakas kasvihuonekaasu kylmäaine on ilmakehään vapautuneena kaasuna. Referenssiarvo on hiilidioksidi, jolle arvo on 1.

- **SFS-EN 378, osat 1-4**

- Kylmäalan keskeinen standardisarja, joka käsittelee turvallisuus- ja ympäristövaatimuksia kylmäkoneistojen ja –kojeiden sekä lämpöpumppujen suunnittelussa, valmistuksessa, kokoamisessa, asennuksessa, käytössä, huollossa, korjauksessa ja hävittämisessä.

Kylmäaineiden jaottelu – synteettiset ja luonnolliset kylmäaineet

- Synteettiset kylmäaineet – kemiallisesti tuotettuja
 - Käytöstä jo poistuneet **CFC**- ja **HCFC**-kylmäaineet. Otsonikerrokselle haitallisia ja voimakkaita kasvihuonekaasuja. Esim. R-12, R-22
 - Nykyisin laajimmin käytössä ovat **HFC**-kylmäaineet, **HFO**-kylmäaineet sekä näiden seokset. Otsonihaitattomia, mutta useimmiten merkittävän kasvihuonehaitallisuuden omaavia kylmäaineita.
 - HFC esim. R410A, R134a, R404A, R32
 - HFO esim. R1234ze, R1234yf
 - HFC/HFO seos esim. R513A, R515b, R449A/R448A
- Luonnolliset kylmäaineet – mitä esiintyy luonnossa sellaisenaan
 - **Ammoniakki NH₃ = R717**. Hyvä kylmäaine, mutta myrkyllinen ja syttyvä
 - **Hiilidioksidi CO₂ = R744**. Myrkytön, mutta edellyttää korkeita paineita.
 - **Hiilivedyt** – Propaani R290, isobutaania R600a jne. Hyviä kylmäaineita, mutta palavia

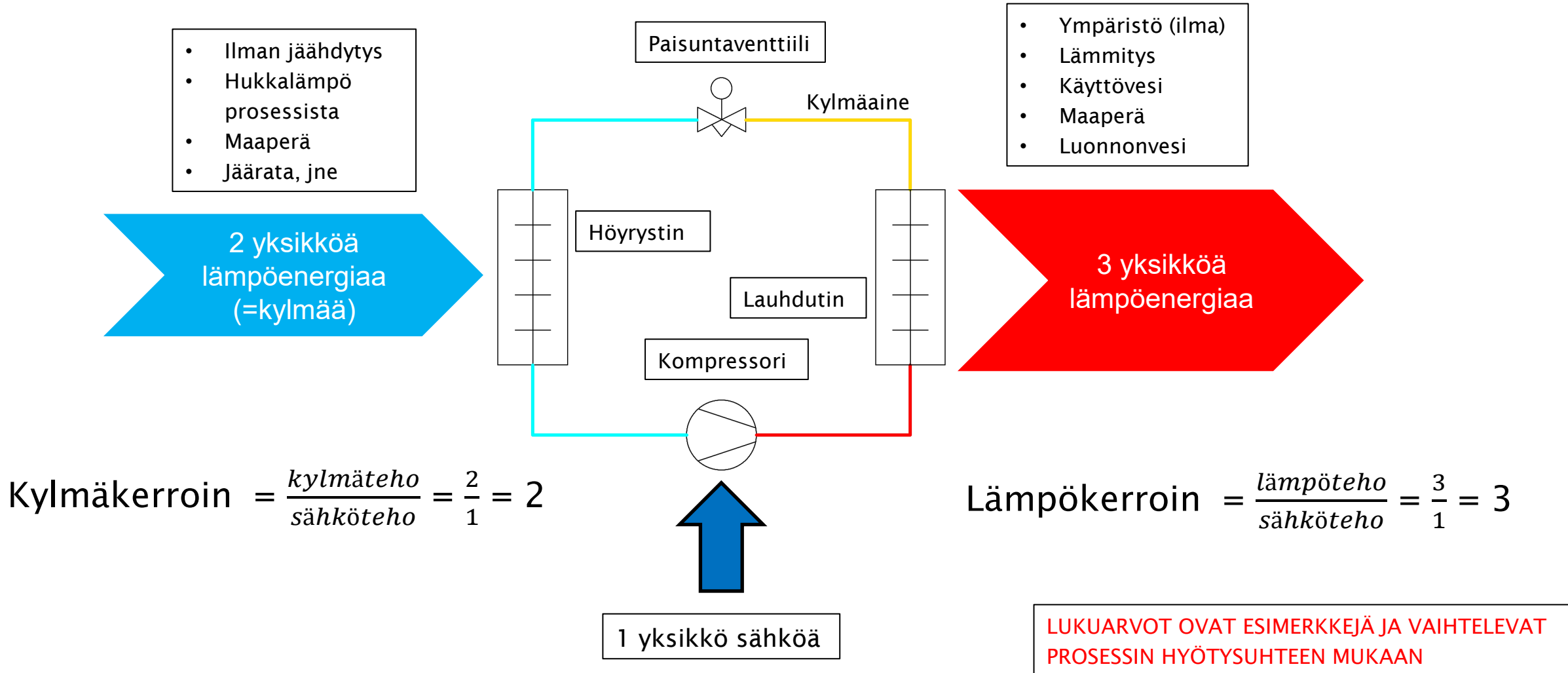
Kylmäaineen turvaluokitus, SFS-EN 378

	"Myrkytön"	Myrkyllinen
Syttymätön	A1	B1
Heikosti syttyvä	A2L	B2L
Syttyvä	A2	B2
Helposti syttyvä	A3	B3

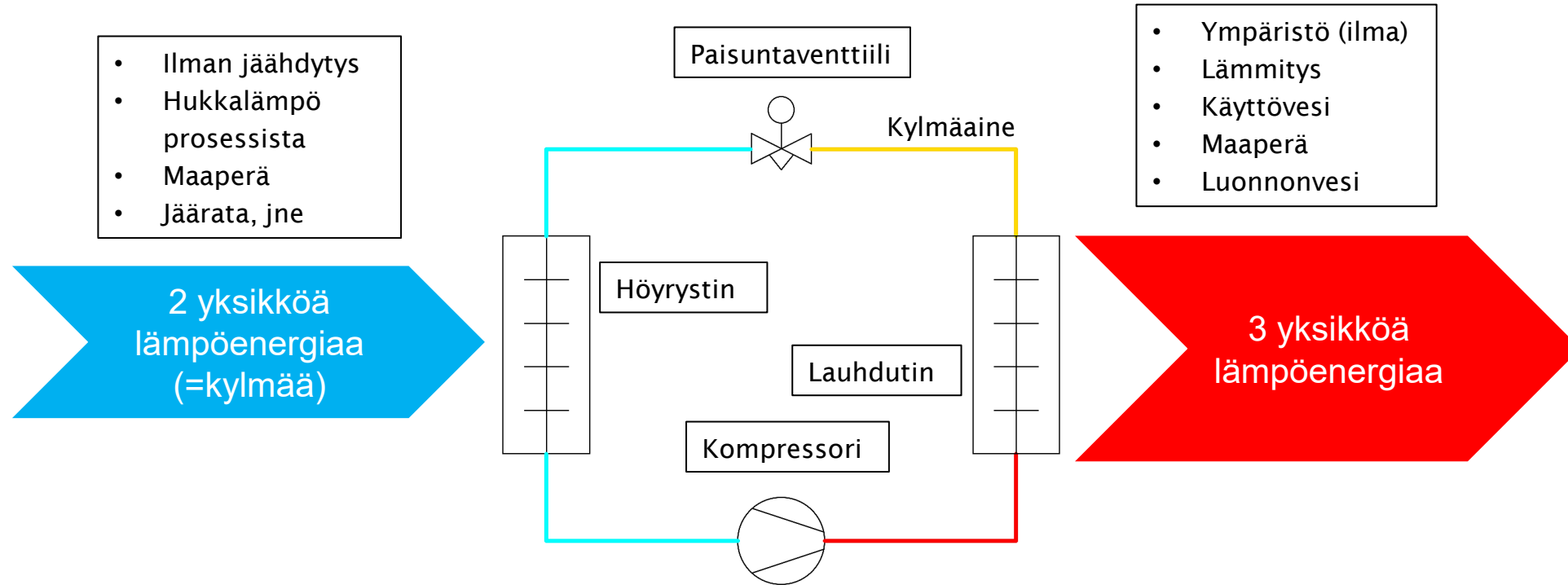
- Myrkyllisyysluokat
 - "Myrkyttömät": Kylmäaineet, joiden työperäisen altistuksen raja-arvo on yli 400 ppm
 - Myrkyllinen: Kylmäaineet, joiden työperäisen altistuksen raja-arvo on alle 400 ppm.
- Valtaosa ns. vanhoista kylmäaineista sisältyy turvaluokkaan A1
- Tulevaisuudessa joudutaan toimimaan usein turvaluokkien A2L - A3 kanssa + ammoniakki B2L

ENERGIATEHOKAS JÄÄHDYTYS

Kylmäkone tai lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa sähkön avulla



Ideaalitalanteessa sekä lämmitys- että jäähdytys käytetään hyödyksi



$$\text{Yhdistetty kylmä- ja lämpökerroin} = \frac{\text{kylmäteho} + \text{lämpöteho}}{\text{sähköteho}} = \frac{2+3}{1} = 5$$

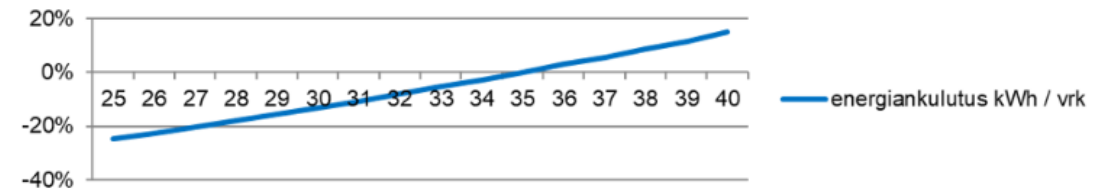
= 1 MWh sähköä tuottaa 5 MWh muuta energiaa!

LUKUARVOT OVAT ESIMERKKEJÄ JA VAIHTELEVAT PROSESSIN HYÖTYSUHTEN MUKAAN

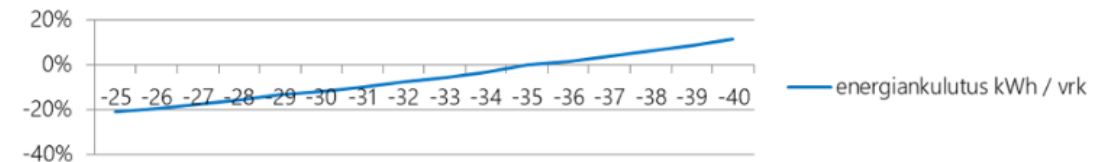
Kylmäkoneen energiatehokkuus/sähkönkulutus

- Mitä lähempänä prosessin höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat ovat toisiaan, sitä vähemmän kompressor joutuu tekemään työtä.
= **Sähkönkulutus laskee**
- Kylmäkoneen energiatehokkuuden parantamisessa kannattaa useimmiten tavoitella:
 - Jäähdytys tuotetaan mahdollisimman korkeassa lämpötilassa
 - Jäähdytyksen tuottama hukkalämpö luovutetaan mahdollisimman matalassa lämpötilassa
- **1 asteen korkeampi höyrystyslämpötila tai 1 asteen matalampi lauhtumislämpötila pienentävät molemmat kylmäkoneen sähkönkulutusta noin 3 %**

Lauhtumislämpötilan vaikutus energiankulutukseen



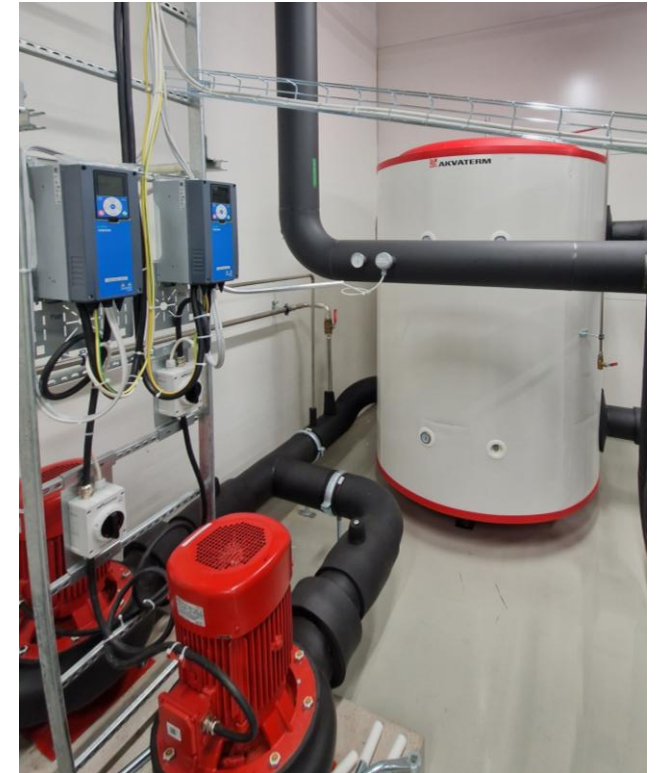
Höyrystyslämpötilan vaikutus energiankulutukseen



Kuva. Periaatteelliset kuvaajat lauhtumis- ja höyrystyslämpötilojen vaikutuksista energiankulutukseen.

Jäähdytysjärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen

- Jäähdytysjärjestelmän energiatehokkuusparannukset voidaan jakaa kolmeen osakokonaisuuteen: Jäähdytyksen/kylmän hyödyntäminen ja käyttö, itse kylmäntuotantolaitteisto sekä lauhdelämmön luovutus/hyötykäyttö.
- **Takasteltavia asioita jäähdytyksen kulutuskohteessa:**
 - Mihin jäähdytystä käytetään ja onko jäähdytystarvetta mahdollista vähentää?
 - Asetusarvot, ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus, yhtäaikaisten lämmityksen ja jäähdytyksen välttäminen
 - Missä lämpötilassa jäähdytystä käytetään ja onko lämpötilatasoa mahdollista nostaa?
 - Esim. vedejäähdytyskoneen tuottolämpötilan asetusarvon kelluttaminen verkoston tarpeen mukaan.



Jäähdytysjärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen

- **Kylmäntuotanto**

- Onko kylmäkoneisto huollettu ja käyttökuntoinen?
- Onko laitteisto oikean tehoinen ja toimiiko se hyvällä hyötysuhteella myös osateholla?
- Voidaanko kohteessa hyödyntää vapaajäähdytystä?

- **Lauhdelämmön luovutus ja hyötykäyttö:**

- Ovatko lauhdutuslaitteet puhtaat ja lämmönsiirto tehokasta?
- Onko lauhdutuslämpötilan lasku mahdollista?
- Onko kohteessa edellytyksiä ja potentiaalia hyödyntää lämmöntalteenottoa?



Vapaajäähdytys vai energiankierrätys/lämmöntalteenotto?

- Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan kylmän ulkoilman tai luonnonveden hyödyntämistä jäähdytyksessä, ilman että käytetään kylmäkoneen kompressoreja.
 - Etuna pieni sähköenergiankulutus
 - Usein edullinen investointi
 - Matalissa ulkolämpötiloissa kohteessa saattaisi kuitenkin olla myös lämmitystarvetta?
- Energiankierrätysjärjestelmän avulla voidaan yhdistää kylmän- ja lämmöntuotanto energiatehokkaaksi kokonaisuudeksi, **mutta**:
- Lämmöntalteenottoinvestoinnin kannattavuus on riippuvaista:
 - Lämmitys- ja jäähdytystarpeiden samanaikaisuudesta, lämpötilatasoista ja laitteiden keskinäisistä sijainneista.
 - Järjestelmien **todellisista** tehontarpeista. Kannattavuuslaskennan lähtötiedoksi hankittava todellista kulutusdataa, ei voida luottaa vain suunnitteluarvoihin ja –tehoihin

KYLMÄAINELAINSÄÄDÄNNÖN MUUTOKSET

EU:n uusi F-kaasuasetus 2024

- F-kaasuasetuksen tavoitteena on hillitä ilmakehälle haitallisten fluorattujen kemikaalien käyttöä, joiden yhtenä sovelluskohteena ovat kylmäaineet.
- F-kaasuasetuksen ensimmäinen versio EU 517/2014 on ollut voimassa jo 10 vuotta.
- Uusi ja tiukentunut F-kaasuasetus astui voimaan 11.3.2024.
 - Keinot ja tavoitteet ovat samat kuin aiemmin, mutta rajat tiukempia.
 - Tavoitteena F-kaasuista luopuminen kokonaisuudessaan 2050.
- EU:ssa valmisteilla myös mahdollinen PFAS-kemikaalien kieltö, joka tulisi kieltämään kylmäaineita erittäin laajasti. Sen valmistelu on kuitenkin kesken ja kokonaisuus on valtava (teflon, tekstiilipinnoitteet, tiivisteet yms.)



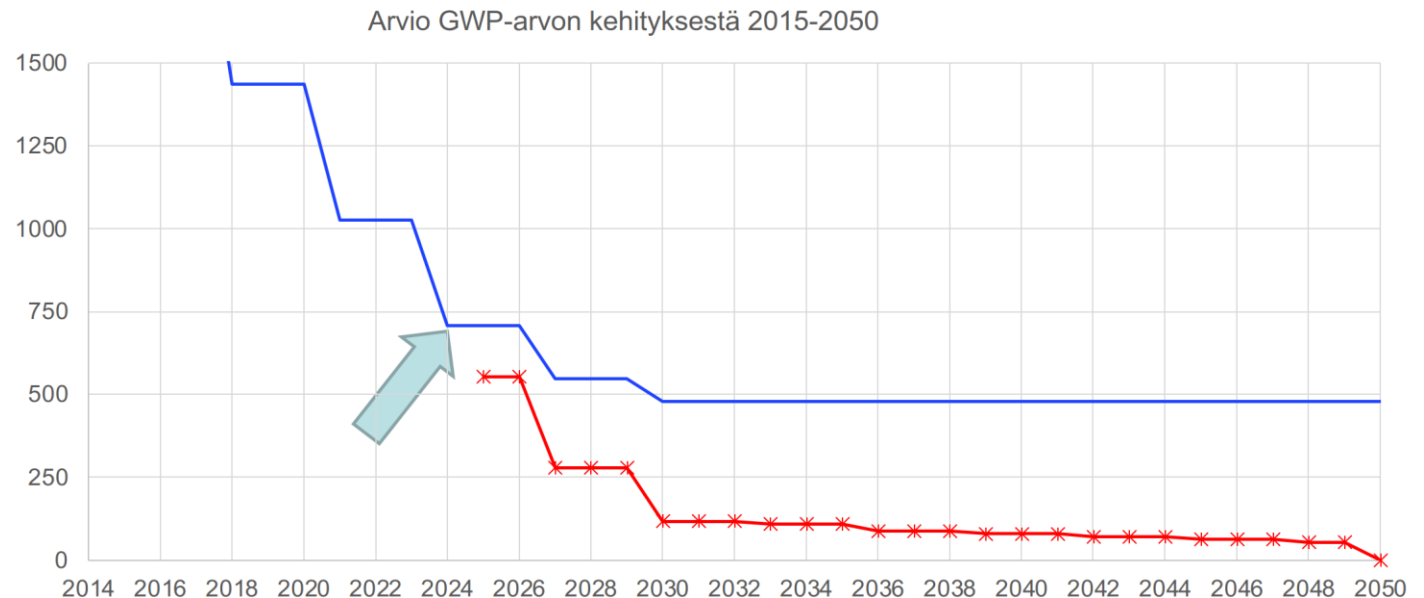
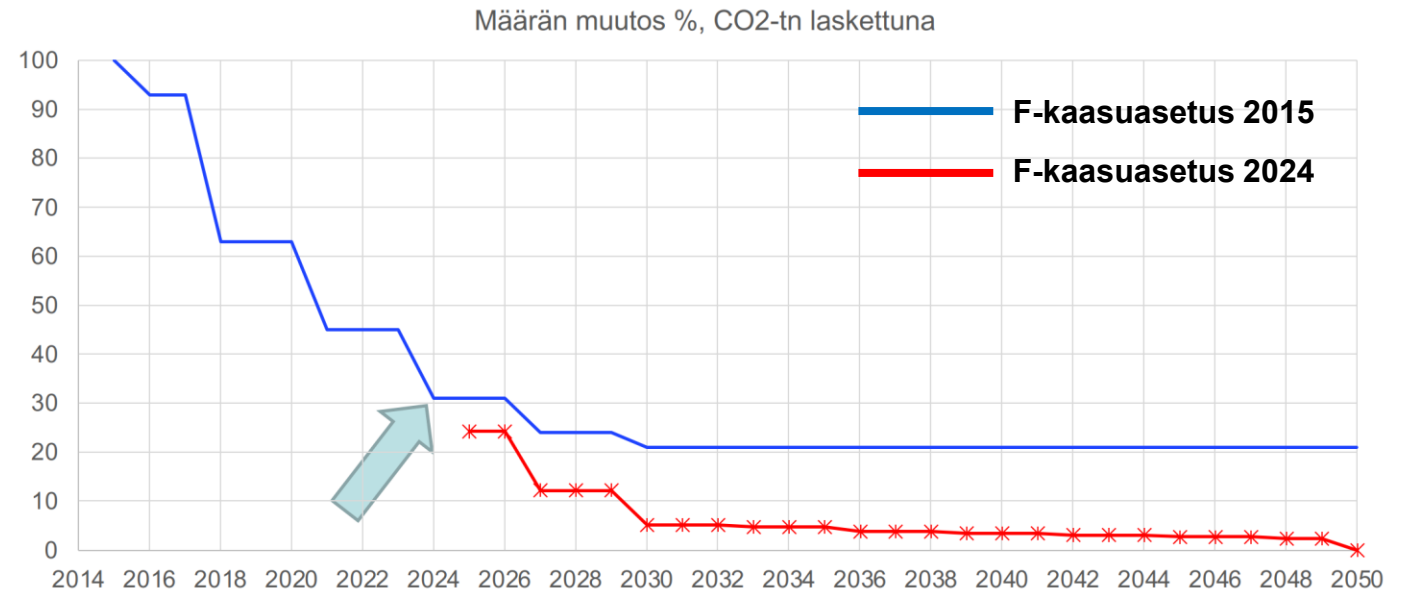
EU:n F-kaasuasetus

- F-kaasuasetuksen keskeiset keinot kaasupäästöjen hillitsemiseksi
 - Markkinoille päästettävän kylmäainemäärän rajoittaminen kiintiömenettelyllä
 - Kylmäaineen GWP-rajoituksia laite- ja järjestelmäkohtaisesti, UUSILLE laitteille
 - Huoltokiellot tietyille kylmäaineille, käyttötarkoituksesta ja GWP-arvoista riippuen
 - Velvollisuus säännöllisiin vuototarkastuksiin, joista laitteen omistaja vastaa
 - Asentajien ja huoltajien pätevyysvaatimukset
- **Useimmissa tapauksissa vastausta kysymykseen ”koska kylmäaine x kielletään?” ei voida antaa. Uusia laiteasennuksia ja vanhojen laitteiden huoltoja koskettavat eri määräykset.**
 - Poikkeuksena aineet, joiden GWP on yli 2500. Nämä menossa täyteen huoltokieltoon 1.1.2030, mutta laitteita saa kyllä periaatteessa senkin jälkeen käyttää.

Kylmäainekiintiöt

- Rajoittaa kylmäaineiden valmistusta, ostoa ja myyntiä.
- Kiintiöt jaetaan vuosittain alan yrityksille ja uusille toimijoille.
- Kiintiöt perustuva GWP-lukuun: Mitä matalampi luku aineella on, sitä enemmän (kg) voidaan kylmäainetta valmistaa/myydä kiintiön sisällä. Kun yrityksen kiintiö on käytetty loppuun, yritys voi ostaa kiintiötä lisää.

-> Kylmäaineiden hinnat nousevat, vaikka aineita olisikin saatavilla.



F-kaasuasetuksen 2024 laitetyyppikohtaiset rajoitukset

- Voivat kieltää jonkun kylmäaineen käytön tietyssä käyttötarkoituksessa
 - Koskevat kuitenkin vain uusia järjestelmiä
- Tiettyjä poikkeamia rajoituksiin sisältyy (esim. puolustuskäyttö) tai *”jos käyttö on välttämätöntä turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi”*
 - Käytännössä poikkeuksia pitää erikseen hakea.
- Vanhoja järjestelmiä koskevat erilliset huoltokiellot, eli niihin ei sovelleta samoja raja-arvoja
- Vastuu laitteen markkinoille saattajalla, eli myyjällä – suunnittelijan pitää kuitenkin speksata laitteita joita saa markkinoilta
 - Esim. Kylmäaineella R410A toimivat **uudet** vedenjäähdytyskoneet on kielletty 1.1.2027 alkaen.



F-kaasuasetus 2024 - Huoltokiellot

- Huoltokieltojen tavoitteena on ohjata luopumaan haitallisimpia kylmäaineita sisältävistä vanhoista järjestelmistä
- Huoltotoimenpiteet edellyttävät usein uuden kylmäaineen lisäämistä järjestelmään
- Vaihtoehtona uuden kylmäaineen käytölle on muista järjestelmistä talteen otettu, kierrätetty kylmäaine
 - Kylmäaineen regenerointi = talteenotetun kylmäaineen laboratorioskäsitely uutta kylmäainetta vastaavaksi

F-kaasuasetus 2024 - huoltokiellot

- Kaikki jäähdytyslaitteet, joiden kylmäaineen GWP-arvo on ≥ 2500
 - Huoltokielto uudella kylmäaineella 1.1.2025 alkaen
 - Huoltokielto regeneroidulla kylmäaineella 1.1.2030 alkaen
- Ilmastointilaitteet ja lämpöpumput, joiden kylmäaineen GWP-arvo on ≥ 2500
 - Huoltokielto uudella kylmäaineella 1.1.2026 alkaen
 - Huoltokielto regeneroidulla kylmäaineella 1.1.2032 alkaen
- Kiinteät jäähdytyslaitteet, poislukien chillerit (=VJK:t), joiden kylmäaineen GWP-arvo on ≥ 750
 - Huoltokielto uudella kylmäaineella 1.1.2032 alkaen
 - Huolto sallittua regeneroidulla kylmäaineella ilman takarajaa

**MINKÄÄN ALLE GWP
2500 KYLMÄAINEEN
KÄYTTÖÄ HUOLLOSSA
EI OLE KIELLETTY!**

**KIERRÄTETYN
KYLMÄAINEEN KÄYTTÖ
HUOLLOSSA LISÄÄNTYY**

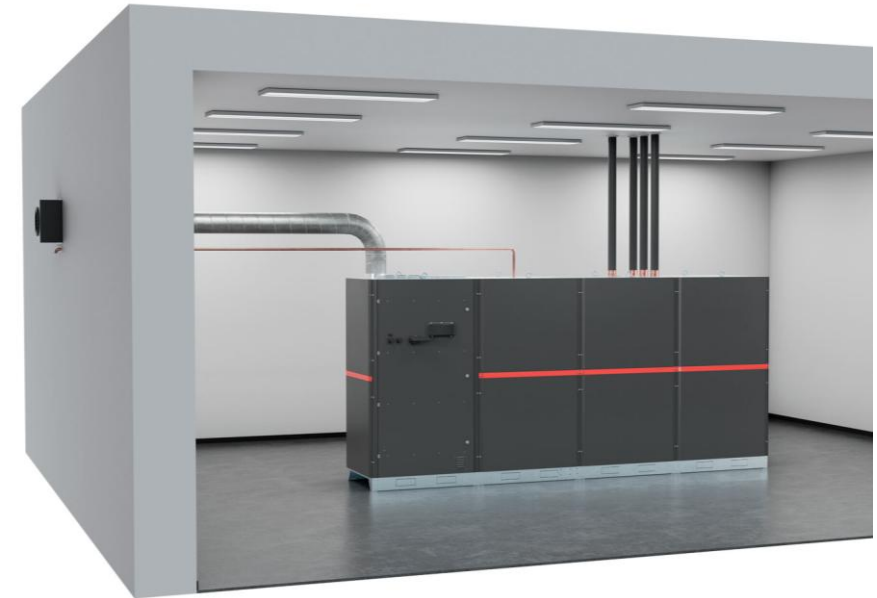
TAPAUS R404A, GWP 3922

- R404A on edelleen erittäin laajasti käytössä mm. elintarvikkeiden varastoinnissa, niin pakaste- kuin jääkaappilämpötiloissa. Käytössä myös jäähalleissa ja erilaisissa teollisuussovelluksissa.
- **R404A asetetaan täyteen huoltokieltoon 1.1.2030 alkaen. Kaikki kylmäainetäyttöä edellyttävät huoltotoimenpiteet kielletään.**
- Järjestelmät tulisi saneerata hallitusti ennen määräaikaa, mikä tulee haastamaan kylmäalan resurssit!
- Osa R404A-järjestelmistä olisi teknisiltä ratkaisuiltaan hyvinkin pitkäikäisiä, joten niitä joudutaan saneeraamaan hieman ”ennenaaisesti”. Myös kylmäaineen vaihto vanhaan järjestelmään on usein mahdollista, mutta vaatii huolellisuutta ja jäähdytysteho hieman laskee.



Yhteenveto – Kylmäainemuutoksien vaikutukset

- Useimpia jo asennettuja järjestelmiä saa huoltaa, mutta kylmäaine kallistuu
 - Poikkeuksena yli 2500 GWP-arvon kylmäaineiden täysi huoltokielto 1.1.2030
- Kylmäjärjestelmän turvallisuuden huomiointi
 - Tilaratkaisut ja laitetilojen sijoitus rakennuksen sisällä
- Syttyvät kylmäaineet sisätiloissa -> alipaineistettujen laitekoteloiden käyttö tulee yleistymään
- Ulkoasenteisten koneiden käyttö tulee lisääntymään
- Järjestelmien hinnat nousevat, hieman sovelluksesta riippuen kuinka paljon



Kuva: Chiller Novacool-kylmävesiasema, alipaineistettu kotelo ja poistoilmakanava ulos



KIITOS!

 **A-INSINÖÖRIT**

Markus Laine
Erikoissuunnittelija

Puh. 050 3025647
markus.laine@ains.fi

 **AINS GROUP**