

Vetyturvallisuus

Materiaalin koostamisessa on hyödynnetty alkuperäistä materiaalia:
Vedyntuotanto ja vetytalouden arvoketjut – koulutus 2024
Vedyn valmistus - Turvallisuus, Toomas Karhu Turun AMK



OSAO

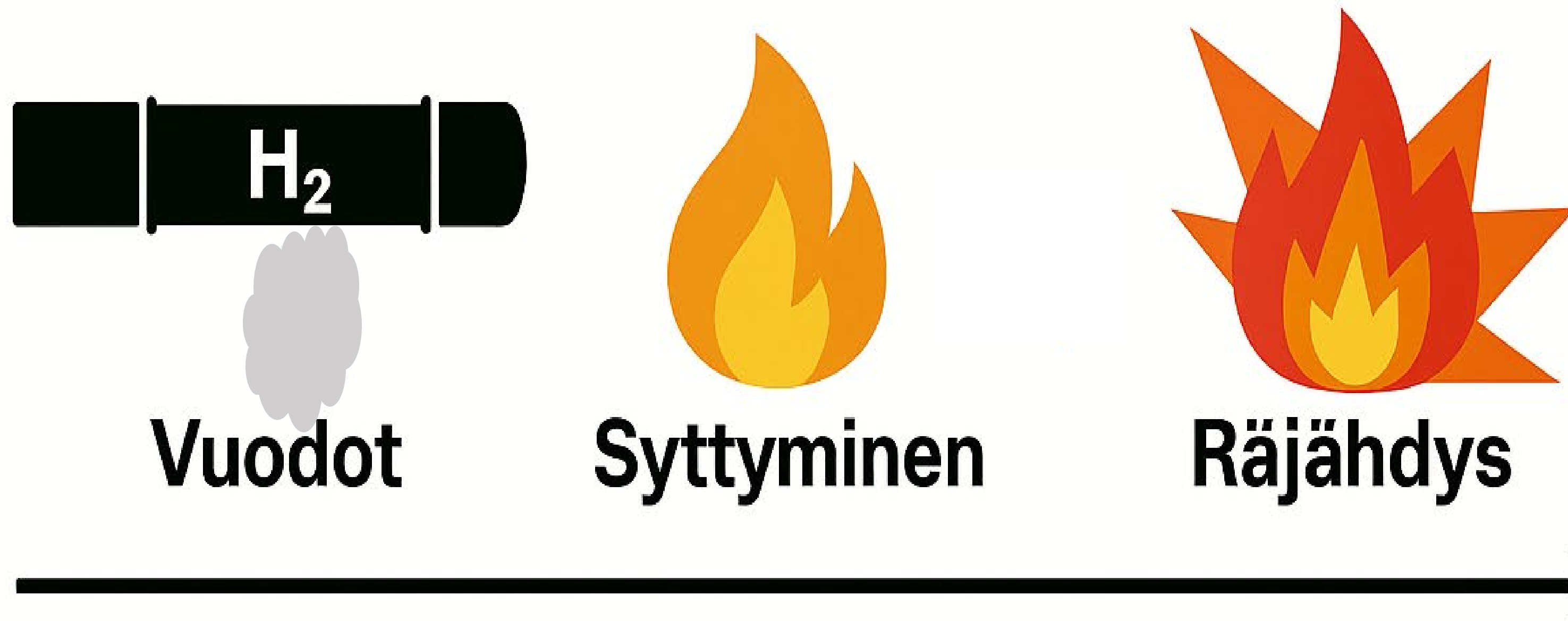


Euroopan unionin
osarahoittama

Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Riskien ja vaarojen arviointi vedyn osalta:

H₂ pieni molekyyli –
pääsee vuotamaan helposti



EI VUOTOJA -> EI TULIPALOJA TAI RÄJÄHDYKSIÄ

Copilot kuvitus



Euroopan unionin
osarahoittama

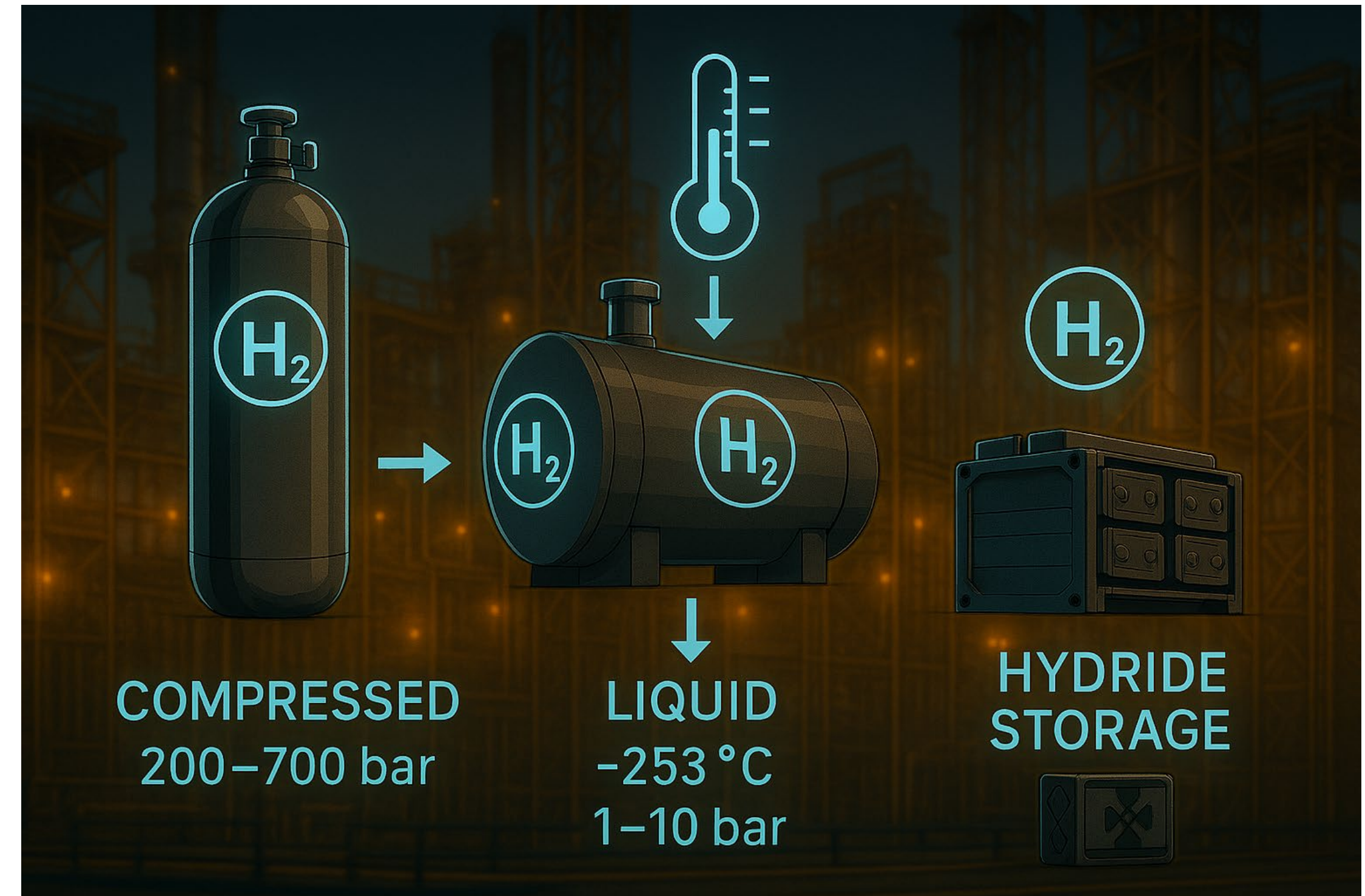
Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Vedyn varastointi

- paineistettuna (CH_2) (yleisin 200...700 bar)
- nestemäisenä (LH_2) ($-253\text{ }^\circ\text{C}$ ja 1...10 bar)
- sitominen metallihydridiakkuihin

Vuotokohdat:

- tiivistepinnat
- liitokset
 - laippaliitosten huolellinen operointi
- huokoisten materiaalien läpi tihkuminen



Copilot kuvitus



Euroopan unionin
osarahoittama

Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Vedyn vuotaminen joko kaasumaisena tai nestemäisenä

Kaasumaisen vedyn käyttäytyminen vuototilanteessa:

- korkea paine lisää vuodon todennäköisyyttä
- vety ei ole myrkyllistä
- kevyenä kaasuna vety nousee nopeasti ylöspäin
 - ulkotiloissa vety laimenee nopeasti ilmaan
 - sisätiloissa vety voi kerääntyä katonrajaan, joten tehokas ilmanvaihto on tärkeää
- vuodon paine ja suunta vaikuttavat leviämiseen; vety voi hetkellisesti levitä myös sivuille ja alaspäin
- korkeat vetypitoisuudet syrjäyttävät happea ja voivat aiheuttaa tukehtumisvaaran
 - hapenpuutteen oireita esiintyy yleensä happipitoisuuden laskiessa alle 18 %



Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Nestemäisen vedyn käyttäytyminen vuotoilanteessa :

- alhaisempi käyttöpainne vähentää vuotoriskiä kaasumaiseen vetyyn verrattuna
- varastoinnissa syntyy boil-off-kaasua vedyn höyrystyessä - säiliöpaineen hallinta edellyttää boil-off-järjestelmää
- höyrystyvän vedyn määrä on tyypillisesti 0,1–3 % vuorokaudessa.



Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Tulipalo

- vetyvuoto muodostaa suuremman kaasupilven kuin perinteiset kaasu eikä mahdollista vuotoa tai liekkiä voi aisteilla ahavita
- vetyliekin lämpökuorma on voimakas, joka voi sulattaa metalleja nopeasti

vety palaa puhtaaksi vedeksi: $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$



reaktiossa vety palaa räjähtäen muodostaen vesihöyryä

Lähde: <https://spitfireresearch.com/hydrogen-to-replace-natural-gas-by-the-numbers/>



Euroopan unionin
osarahoittama

Vety - vaarojen tunnistaminen ja riskeihin varautuminen

Räjähdykset

- vedyn laaja syttymisalue mahdollistaa suuren syttyvän kaasupilven muodostumisen myös tilanteissa, joissa kaasun pitoisuus vaihtelee merkittävästi
- vedyn liekin etenemisnopeus on suuri, minkä vuoksi paine voi kasvaa hyvin nopeasti syttymisen jälkeen. Nopea paineen nousu voi heikentää perinteisten räjähdyspaineen kevennysratkaisujen, kuten räjähdyspaneelien ja -luukkujen, toimintaa.
- suljetuissa tai ahtaissa tiloissa rakenteet, laitteet ja muut esteet voivat lisätä turbulenssia, mikä voi edelleen voimistaa räjähdyspainevaikutuksia.
 - vetyräjähdyspaine voi olla huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi metaaniräjähdyksessä
- räjähdyksessä syntyvä paineaalto voi aiheuttaa merkittäviä rakennevahinkoja sekä irrottaa ja sinkouttaa rakenteiden osia ympäristöön.
- vedyn turvallisessa käytössä korostuvat vuotojen ehkäisy, tehokas ilmanvaihto, kaasunilmaisuus sekä syttymislähteiden hallinta.



Vety - riskienarviointi

suurin riski: vedyn vuotaminen

- suunnitteluvirheet
- valmistusvirheet
- materiaalin pettäminen
- ihmisten toiminnasta aiheutuvat riskit

Tyypillisimmät vuotokohdat ovat tiivisteet ja laippaliitokset

- vuodon ilmaisin teipit
- vetylaitoksen alasajossa (vuoto, tulipalo) ajetaan laitos turvalliseen tilaan – sulkuventtiilit kiinni
 - ennen kuin prosessia avataan tarvittava alue inertisoidaan – linjojen avaus vasta kun linjat on puhdistettu
 - vuotoa etsitään inertin kaasun painetestillä ja liitosten havainnoinnilla
- vetyputkiston käyttöönotossa erityisen tärkeää on puhtaus ja hapenpoisto putkistosta
 - linjaston tiiveys testataan painekokeilla – tarvittaessa uusitaan tiiveystestauksia
 - muokattuja rakenteita tarkistetaan NDT testeillä (röntgen kuvaus)



Vety - vuodot

Jos vuoto tapahtuu - vuotojen hallinta:

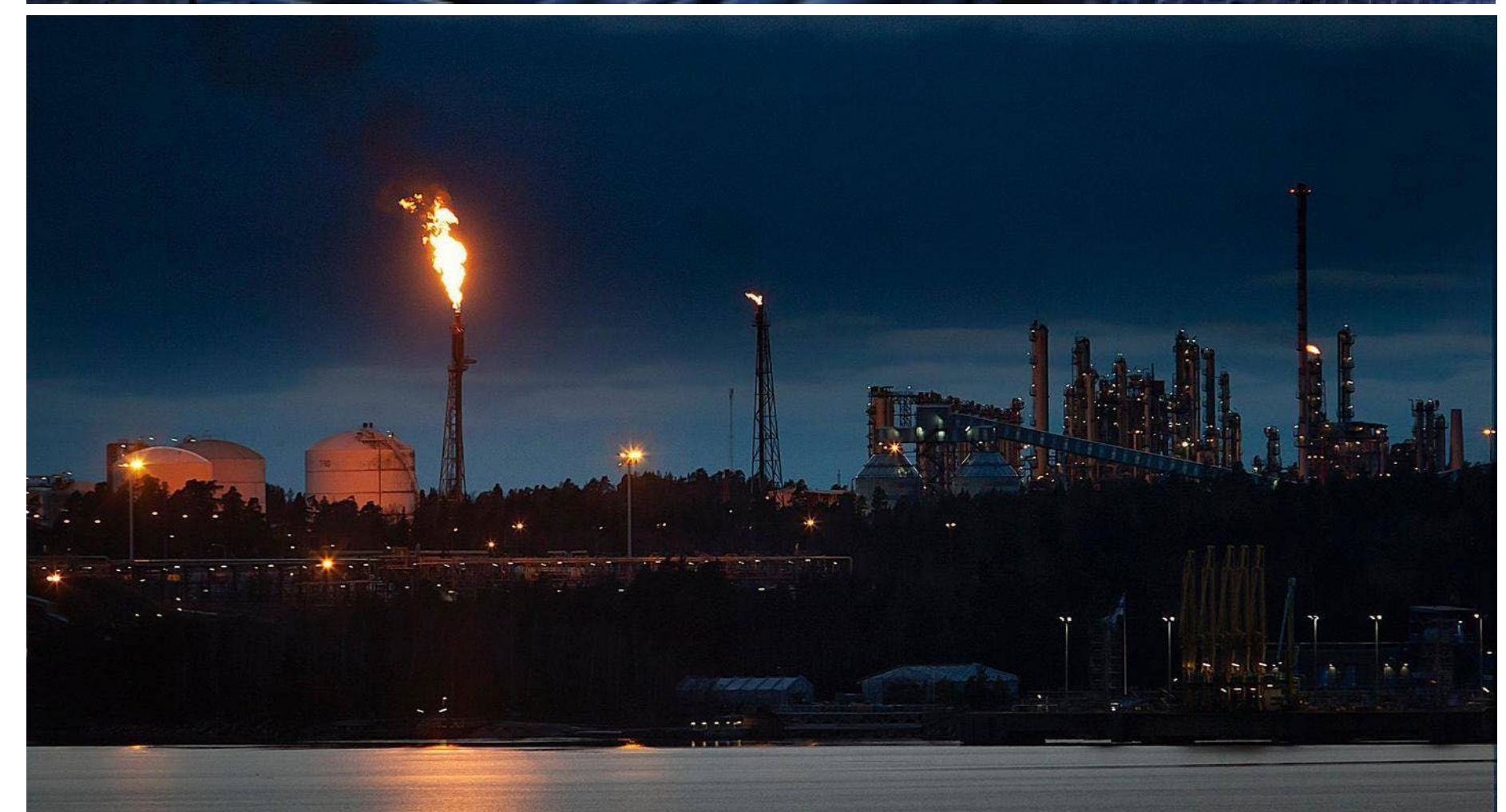
- **vuodonilmaisimet ja hälyttimet**
 - aktivoivat automaattiset sulkuventtiilijärjestelmät
- **liekinilmaisimet ja automaattinen sammutusjärjestelmä**
- **vetysäiliössä määrän tunnistus ja valvonta**
 - katkaistaan vedyn tulo: putkistossa pitäisi olla sopiva määrä hätäsulkuventtiileitä
 - aktivointi automaattisesti esim. sensoritiedon vaikutuksesta (edellyttää isoa vuotoa)
 - vuodonrajoitusventtiili: sulkee linjan kun vuoto suurempi kuin suurin mahdollinen käyttövirtaama (estää vain normaalivirtausta suuremmat vuodot)
 - manuaalinen hätäkäyttömahdollisuus
 - hätäseis painiketta painettaessa järjestelmä ajaa vaiheittain prosessin turvalliseen tilaan



Vety - vuodot

Jos vuoto tapahtuu - vuotojen hallinta:

- **putkistossa voidaan käyttää tuulettusta inertillä kaasulla – ulospuhallukset (paineenalennus, soihtu)**
 - esimerkiksi järjestelmä, jossa putkistot ja muut tarpeelliset tilat, voidaan tuulettaa esim. typellä
 - automaattikäyttö ja manuaalinen hätäkäyttö
 - putkistot kannattaa mahdollisuuksien mukaan sijoittaa niin, että vuoto suuntautuu mahdollisimman todennäköisesti ulkoilmaan jolloin vety laimenee nopeammin ilman kanssa
 - joissain tapauksissa voidaan käyttää soihdutusta, jolloin vety poltetaan hallitusti esim Eastman Oy



**Euroopan unionin
osarahoittama**

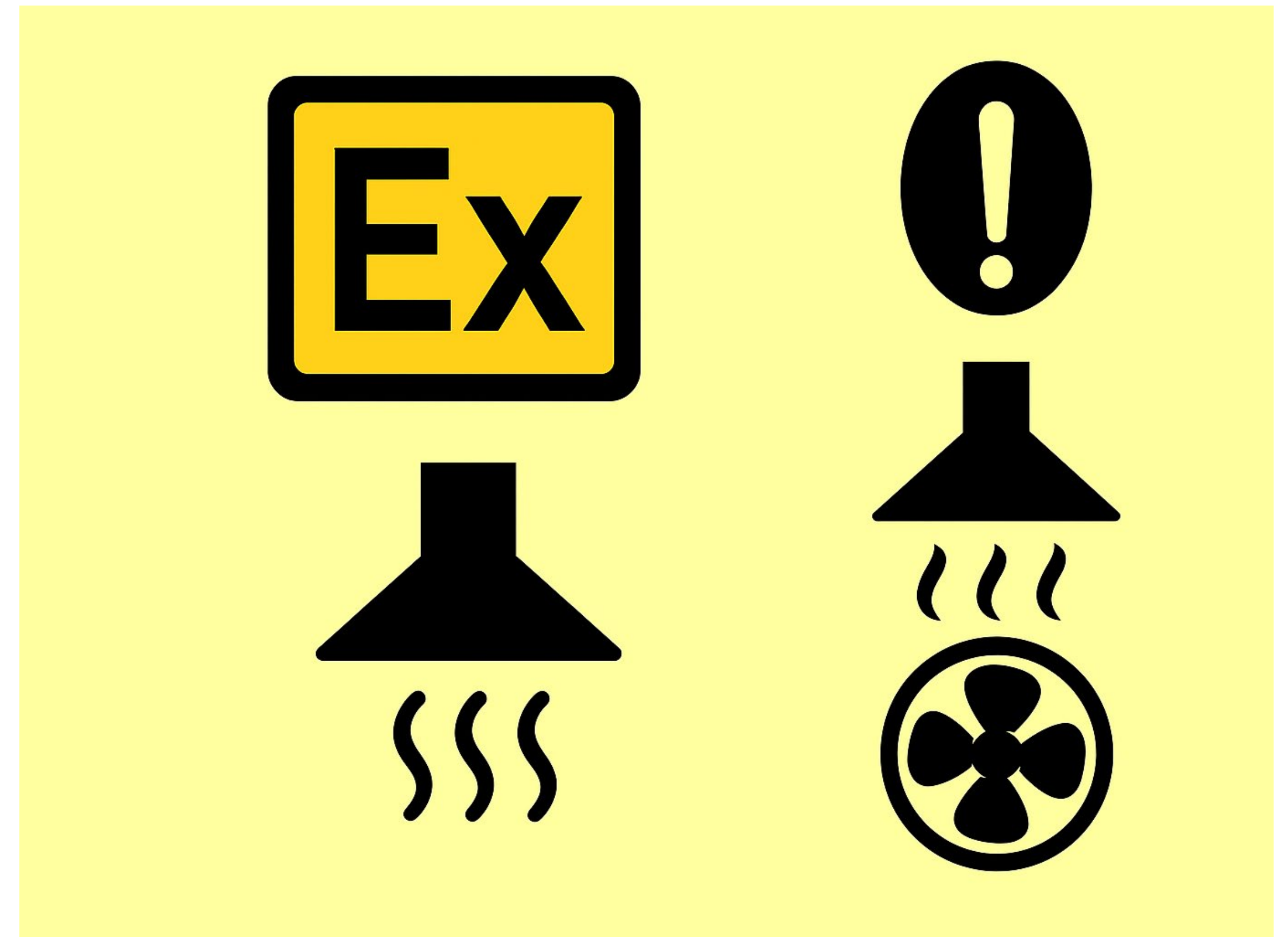
Kuvien lähteet

- <https://yle.fi/a/3-12190302>
- <https://www.uusimaa.fi/paikalliset/4370765>

Vety - vuodot

Jos vuoto tapahtuu - vuotojen hallinta:

- tilassa ei syttymislähteitä
- tila on EX-tila jossa käytetään EX-laitteita
- tila täytetään inertillä kaasulla ja vety tuuletetaan hallitusti ulkoilmaan
- ei happea – ihmisten turvallisuus!
- kohdepoistojen käyttö
- käytetään kohdepoistoa niissä kohdissa joissa vedyn vuoto on kaikista todennäköisintä
 - käytettävä EX-hyväksyttyä poistopuhallinta!



Copilot kuvitus



Euroopan unionin
osarahoittama

Vety - vuodot

räjähdysvaarallinen tila - EX-tila

- tilassa voi esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos
- useampia tilaluokkia
 - jaottelu: kaksi ryhmää ja useampi laiteluokka
- räjähdysvaarallisten tilojen laitteet – EX-laitteet
 - laitteet jotka on tarkoitettu käytettäväksi EX-tilassa
- mekaaniset ja sähköiset laitteet, joissa on syttymislähde suunniteltava EX tilaan sopiviksi
- suojausjärjestelmät esim paineenrajoitus, liekkivahti
- laitteiden ja suojausjärjestelmien komponentit (venttiilit, anturit, liittimet) tulee sopia EX tilaan
- HUOM myös turva-, säätö- ja ohjauslaitteet joita käytetään EX-tilan ulkopuolella, mutta ovat välttämättömiä, kuuluvat EX luokitukseen



Copilot kuvitus



Vety - turvallisuustekniikkaa

Turvallisuustekniikka:

- vuotohälyttimet (ultraääni) (pystyy mittaamaan pienempiä vuotoja kuin osa muista hälyttimistä, vaatii vähintään 2 bar paineen putkistossa)
- kaasuhälyttimet (elektrokemialliset: nopeita, pystyy mittaamaan ppm-tasolla)
- tarvittaessa myös henkilökohtaiset anturit työntekijöille
 - LEL mittaus, vuototilanteessa vain paineilmalaitteet – ei ole muita suojaimia
- vuotohälyttimet linjassa mittaavat kaasun tiheyttä kahden sensorin välillä
- liekintunnistus:
 - IR/UV-hälyttimet
 - lämpökamera
- määräaikaisten tarkastukset
- dokumentaatio: tapahtumat ja hälytykset
- kohdepoistot
- sähkölaitteiden oltava räjähdysvaarallisiin tiloihin hyväksyttyjä (maadoitukset)
- hälyttimien pitäisi soveltua kyseisen mittauskohdan kaasun lämpötilalle ja puhtaudelle!



Copilot kuvitus



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Vety - turvallisuustekniikkaa

- vuoto-, liekki- ja kaasuhälyttimiä
 - vuodon ilmaisuteippi
 - havaitsee jopa 1% vetykaasupitoisuudet
 - nopeasti toimiva värimuutos-teknologia
 - värimuutos riippuu kaasun virtausnopeudesta, lämpötilasta, altistusajasta ja vedyn kaasun prosentuaalisesta pitoisuudesta
- lähde: YTMshop
(Nitro Hydrogen Detection Tape H2)
- liitosten tiiveystesti saippualla

