

Vety ja vedyn ominaisuudet



OSAO



Euroopan unionin
osarahoittama



Vety maailmankaikkeudessa

- Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine ja sitä on noin 73 % maailmankaikkeudessa esiintyvän aineen massasta.
- Maailmankaikkeuden atomeista arviolta 90 % on vetyä.
- Auringosta ja muista tähdistä suurin osa on vetyä.
- Maapallolla vety on kymmenenneksi yleisin alkuaine, joten se on selvästi harvinaisempaa kuin muualla maailmankaikkeudessa.

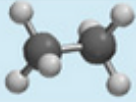
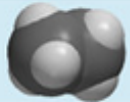
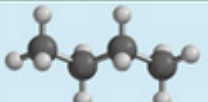
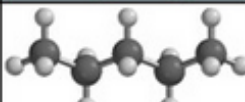
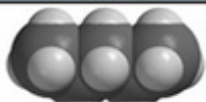
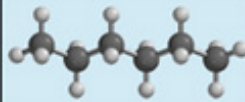
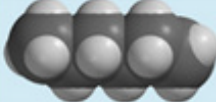


Vety Maapallolla

- Vedyn keveyden vuoksi sen osuus maan kokonaismassasta on vain 0,9 prosentin luokkaa ja maankuoren massasta vieläkin vähemmän, noin 0,15 %.
- Vapaana alkuaineena vety on maapallolla harvinainen, ja se esiintyy lähes aina sitoutuneena kemiallisiksi yhdisteiksi.
 - yleisimmin maapallolla esiintyvä vety on sitoutuneena veteen, joka on vedyn ja hapen yhdiste.
 - luonnossakin esiintyviä epäorgaanisia vety-yhdisteitä ovat muun muassa maaperässä esiintyvät ammoniumsuolat
 - ammoniumsulfaatti ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), joka on lannoite
 - ammoniumkloridi (NH_4Cl), joka on lannoite
 - vetyä esiintyy myös sitoutuneena biomassassa
 - lähes jokaisessa hiilipohjaisessa orgaanisessa yhdisteessä on vetyä



Vety Maapallolla – esim hiilivetyinä

	Alkaani	Molekyylikaava	Rakennekaava	Pallotikku-malli	Kalottimalli	Olomuoto (25 °C)
maakaasu	Metaani	CH ₄	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$			kaasu
	Etaani	C ₂ H ₆ CH ₃ CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$			kaasu
	Propaani	C ₃ H ₈ CH ₃ CH ₂ CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$			kaasu
nestekaasu	Butaani	C ₄ H ₁₀ CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$			kaasu
	Pentaani	C ₅ H ₁₂ CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$			neste
	Heksaani	C ₆ H ₁₄ CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$			neste

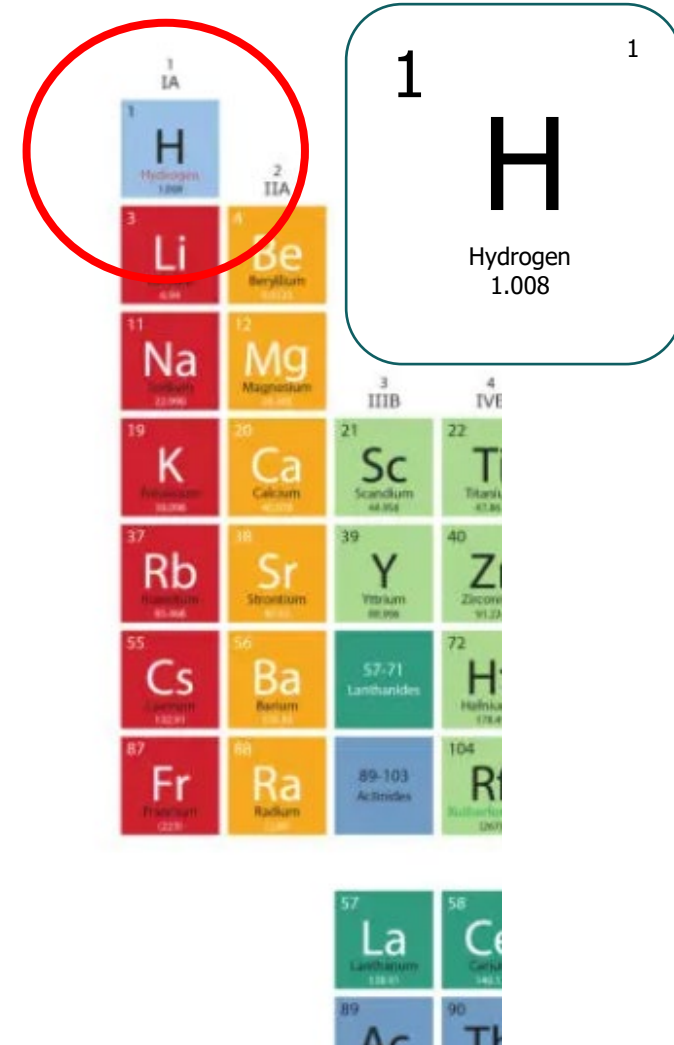
Kun hiilivety palaa puhtaasti, palamisreaktiona saadaan vettä ja hiilidioksidia



Euroopan unionin
osarahoittama

Vety jaksollisessa järjestelmässä

- Vety on jaksollisen järjestelmän ensimmäinen alkuaine.
- Sen kemiallinen merkki on **H** (lat. hydrogenium).
- Vety on epämetalli, mutta jaksollisessa järjestelmässä se kuuluu ensimmäiseen pääryhmään yhdessä alkalimetallien kanssa, koska vedyn elektronit jakautuvat energiatasolle samalla tavoin kuin alkalimetalleillakin yleensä: sillä on vain yksi elektroni → vety on reaktiivinen ja pyrkii yhdistymään muiden atomien kanssa



The image shows a periodic table with Hydrogen (H) highlighted in a red circle. To the right of the periodic table is a detailed view of the Hydrogen element box, which includes the atomic number 1, the symbol H, the name Hydrogen, and the atomic weight 1.008.

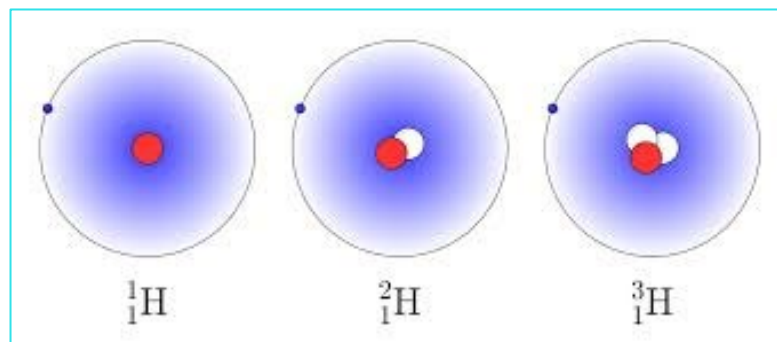
1 IA H Hydrogen 1.008	2 IIA He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62
55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33
87 Fr Francium 223	88 Ra Radium 226

1
H
Hydrogen
1.008



Vedyn isotoopit

- Vedyllä on luonnossa kolmea isotooppia: ^1H , ^2H ja ^3H ; eli Protium, Deuterium ja Tritium



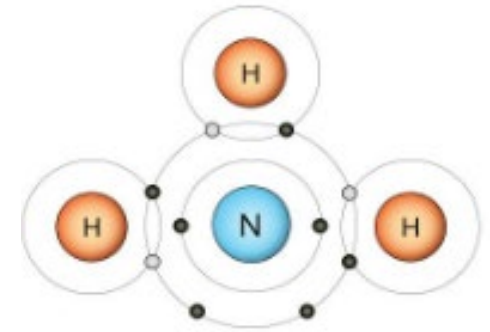
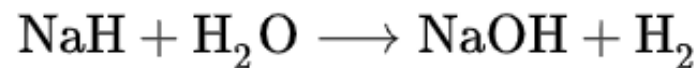
Wikipedia: Vedyn isotoopit

- ^1H eli tavallinen vety** on yleisin vedyn isotooppi, jota on 99,98 % kaikista vetyatomeista. Isotoopissa on vain yksi protoni eikä yhtään neutronia.
- ^2H tai D** on toiseksi yleisin vedyn isotooppi, jota on noin 0,015 % Maassa olevasta vedystä. Isotoopin ytimessä on yhden protonin lisäksi yksi neutroni.
- ^3H tai T** on harvinainen vedyn isotooppi. Sen ytimessä on yksi protoni ja kaksi neutronia. Kaikesta vedystä sitä on 1/10 000 osaa. Tritium on radioaktiivista, ja se hajoaa beetahajoamisen kautta helium-3:ksi.



Vedyn yhdisteitä

- Vedyn binäärisiä yhdisteitä kutsutaan **hydrideiksi** ja ne voidaan jakaa sidosten perusteella kolmeen luokkaan: kovalenttiset, ionisidokselliset ja metalliset yhdisteet
- Kovalenttisia yhdisteitä ovat vedyn ja muiden epämetallien yhdisteet, kuten ammoniakki (NH₃), vesi (H₂O) ja vetyhalogenidit (esim HCl)
 - näistä monet ovat olomuodoltaan huoneenlämpötilassa kaasuja
 - Ionisidokselliset hydritit sisältävät anionina hydridi-ionin (H⁻). Näitä vety muodostaa elektropositiivisten alkali- ja maa-alkalimetallien kanssa. Ionisidokselliset hydritit reagoivat kiivaasti veden kanssa vapauttaen vetykaasua.



Kuvan lähde: <https://gardenandplate.com/nitrogencycle.html>

1

1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003		
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012		
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224

3

State of matter
Gas Liquid



Vedyn yhdisteitä

3. Metalliyhdisteitä (metallisia hydridejä) vety muodostaa siirtymämetallien ja lantanoidien sekä aktinoidien kanssa
- metallisille hydrideille tyypillistä on metallimainen kiilto ja sähkönjohtokyky.
 - näissä yhdisteissä vety pienikokoisena pääsee diffundoitumaan metallihilaan ja muodostaa niin kutsuttuja välisijayhdisteitä.
 - välisijayhdisteet ovat useimmiten koostumukseltaan epästoikiometrisiä ja rakenteeltaan monimutkaisia.

Metalliseen hydridiin perustuu eräiden metallien tutkiminen **vedyn varastointitapana**, koska ne lämmitettäessä vapauttavat vedyn.

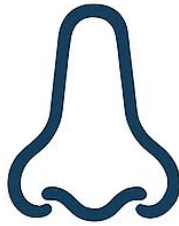


Vedyn ominaisuuksia

Normaalissa ilmanpaineessa, huoneenlämmössä



väritön



hajuton



mauton

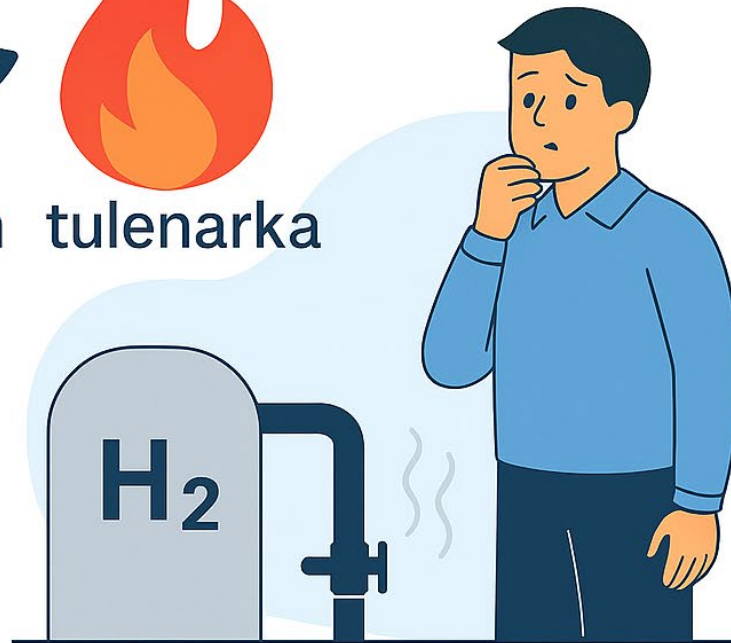


tulenarka



ei myrkyllinen

H_2



Vedyn käsittely ei turvallisuusmielessä poikkea merkittävästi yleisestä kaasujen käsittelystä

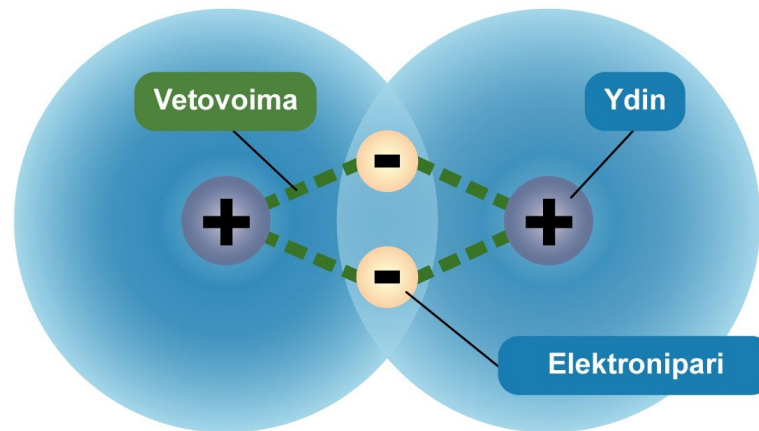
Kuva tuotettu: Copilot - ohjelmalla



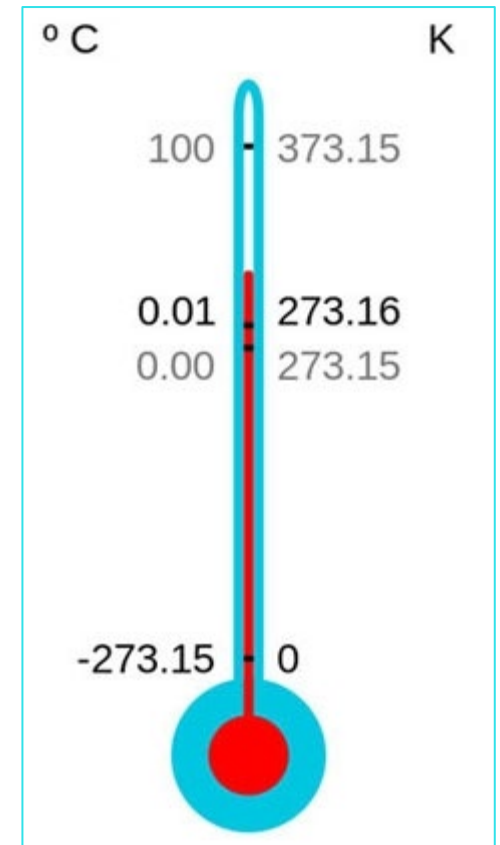
Euroopan unionin
osarahoittama

Vedyn ominaisuuksia

- Esiintyy luonnossa kaksiatomisena molekyylinä (H_2).



- Vedyn sulamispiste on $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$ (n.14 K) ja kiehumispiste on $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ (n. 20 K).
- Vedyn moolimassa on $M = 1,00784\text{ g/mol} \Rightarrow$ vetymolekyylin $M \sim 2,106\text{ g/mol}$



Vedyn fysikaalisia ominaisuuksia

normaali lpt. ja paine => H₂ kaasu

The diagram illustrates the three states of hydrogen. On the left, three ice cubes represent the solid state (Kiinteä). In the center, a grey cylindrical tank labeled H₂ represents the liquid state (Neste). On the right, a grey cloud represents the gas state (Kaasu).

Kiinteä	Neste	Kaasu
-259 °C ja alle	-259 °C ... -252,9,9 °C	yli -252,9 °C

Vedyn sulamis- ja kiehumispiste ovat toiseksi alhaisimmat – vain heliumilla on alemmat.

Kuva tuotettu: Copilot - ohjelmalla

- Kaasu, H₂ on ilmaa keveämpää
 - 0 °C:n lämpötilassa ja normaalissa ilmanpaineessa vedyn tiheys ρ on noin 0,09 g/dm³
 - ilman tiheys vastaavissa olosuhteissa on 1,3 g/dm³
- Neste, H₂
 - tiheys ρ kiehumispisteessä noin 0,07 g/cm³
- Kiinteä, H₂
 - tiheys ρ sulamispisteessä noin 0,0763 g/cm³
 - jään tiheys ρ noin 0,92 g/cm³



Vedyn kemialliset ominaisuudet

- Vety sijoitetaan jaksollisessa järjestelmässä ensimmäiseen eli alkalimetallien sarakkeeseen. Vety kuitenkin poikkeaa monella tavalla muista ryhmään kuuluvista alkuaineista mm. se ei reagoi veden kanssa kuten muut alkalimetallit
- Vetyä pidetään yleensä epämetallina. Kemialliselta kannalta vedyllä kuitenkin on myös metallimaisia ominaisuuksia kuten positiivinen **hapetusluku**.
- Vedyn tavallisin hapetusluku on **+I**, mutta muutamat metallit voivat yhtyä vedyn kanssa hydrideiksi, joissa sen hapetusluku on poikkeuksellisesti **-I**.

	Vety (H)	Alkalimetalli (esim Na)
Sijoitusjaksollisessa järjestelmässä	Epämetalli	Metalli
Järjestysluku	1	11
Elektronirakenne	1 ulkoelektori	1 ulkoelektroni
Sidostyyppi	Usein kovalenttinen	Usein ioninen
Reaktio veden kanssa	Ei reagoi	Reagoi voimakkaasti, muodostaa NaOH ja H ₂

+1
Epämetalli
hapettuu
 $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$
Elektroneja luovutetaan

-1
Metalli
pelkistyy
 $\text{NaH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}^-$
Elektroneja vastaanotetaan



Vedyn kemialliset ominaisuudet

- Vedyn **ionisoitumisenergia** on noin 1 310 kJ/mol, siis paljon suurempi kuin varsinaisilla alkalimetalleilla, joilla se on noin 400–500 kJ/mol.
- Vedyn **elektronegatiivisuus** on paljon suurempi kuin varsinaisten alkalimetallien
- Vety esiintyy kaksiatomisena molekyylinä, joka on tavallisissa lämpötiloissa hyvin pysyvä, eikä kovin reaktiivinen. Tämä johtuu osittain vetymolekyylin vetyatomien välisen kovalenttisen sidoksen suuresta sidosenergiasta.
- Molekyylin hajottamiseen tarvitaan suuri määrä energiaa.
- Hapen ja halogeenien kanssa se kuitenkin reagoi hyvin voimakkaasti, jopa räjähdysmäisesti, muodostaen vettä tai vetyhalogenideja.

Ionisoitumisenergia on energia, joka tarvitaan irrottamaan elektroni kaasumaisesta atomista tai molekyylistä

Elektronegatiivisuus on atomin ominaisuus, joka kuvaa sen kykyä vetää puoleensa yhteisiä sidoselektroneja molekyylissä



Vedyn kemialliset ominaisuudet

- Atomaarinen vety sen sijaan on hyvin reaktiivista. Se on voimakas pelkistin, joka pelkistää jopa natriummetallia natriumsuoloista, ja erityisen voimakkaasti se reagoi halogeenien ja muiden voimakkaiden hapettimien kanssa.

Hapot ja emäkset

- Happo ja emäs on Brønsted–Lowry-teoriassa määritelty siten, että **happo on aine, joka luovuttaa positiivisen vetyionin (H^+) eli protonin** emäkselle. Emäs taas on aine, joka vastaanottaa vetyionin hapolta.
- Happamat vesiliuokset syntyvät, kun happo luovuttaa yhden protonin vedelle, jolloin liuokseen syntyy oksoniumioneja (H_3O^+).



Vedyn ominaisuudet



- vety on kevein alkuaine
 - ei esiinny vapaana, vaan on aina sitoutuneena, joko H_2 tai muihin aineisiin (esim vesi H_2O)
 - näkymätön ja huoneenlämmössä kaasumainen
 - kevyempi kuin ilma, kaasumaisena kohoaa voimakkaasti ylöspäin
 - nousunopeus on riippuvainen vuodon suuruudesta, pienet kuplat nousevat hitaammin
- vety-ilmaseos syttyy herkästi – **laaja syttymisalue (4 - 75,6 tilavuus-% ilmassa, NTP:ssä)**
 - stoikiometrinen ilman ja vedyn suhde palamiselle on:
 - 34,5:1 (kg/kg) – tilavuuden suhteen: 70 % ilmaa / 30 % vetyä
 - vety-ilmaseos palaa värittömällä liekillä 2045 °C:ssa vedeksi $2H_2 + O_2 = 2H_2O$
 - voi itsesyttyä

vety-ilmaseoksella on suuri räjähdysvaara!



Vedyn ominaisuudet



- vedyn havainnointi ilman tekniikkaa mahdotonta
 - tunnistettava antureilla ja mittareilla
- **vetyliekkiä vaikeaa havaita:** liekki ei säteile juurikaan lämpöä ympäristöön – kosketus aiheuttaa pahoja palovammoja
- vetymolekyyli on pieni
 - vuotaa herkästi tiivisteistä ja voi vuotaa jossain tapauksissa jopa materiaalien läpi
 - vety voi myös haurastuttaa materiaaleja (vetyhauraus)
- korkeasta paineesta purkautuessaan/vuotaessaan vety kuumenee

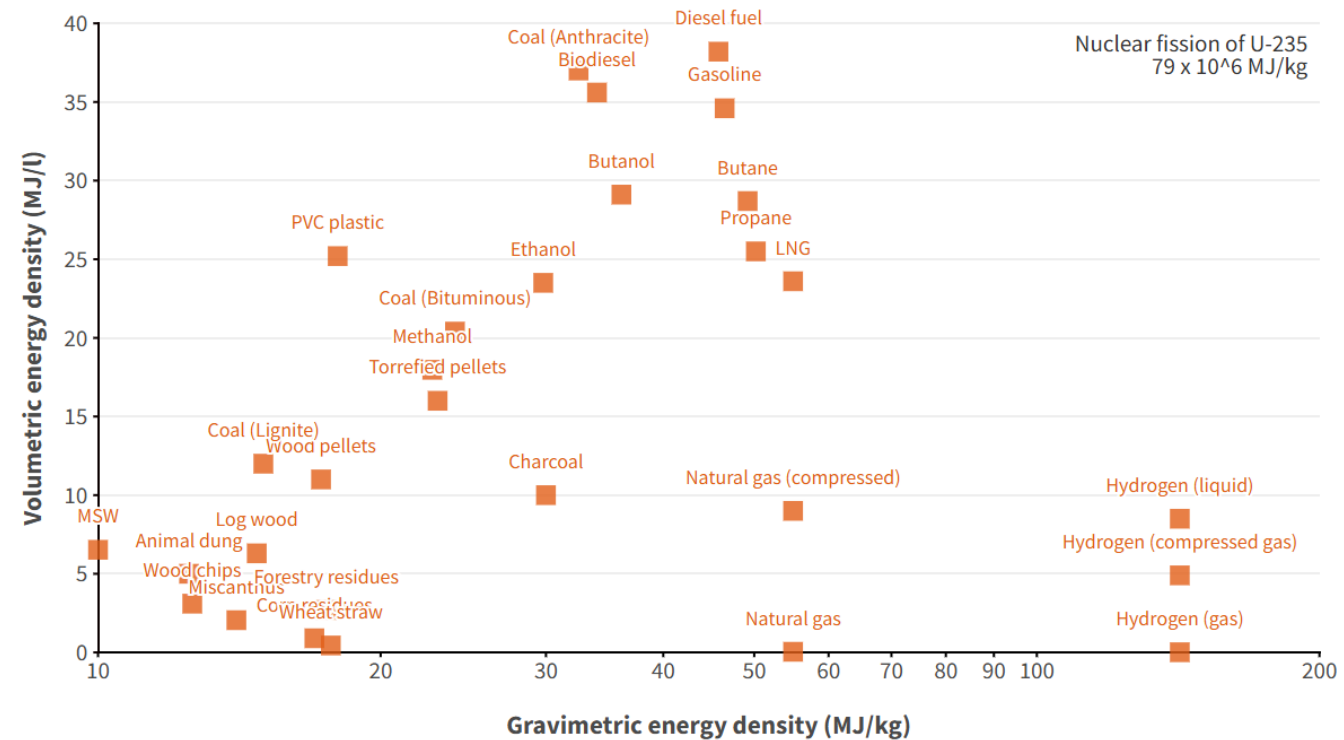


Vedyn ominaisuudet



- vedyllä on pieni tiheys, mutta suuri energiasisältö
 - vedyn energiasisältö on moninkertainen perinteisiin polttoaineisiin nähden
- massayksikköä kohti vety sisältää paljon energiaa, mutta vie paljon tilaa!
 - 1 kg kaasumaista vetyä (NTP olosuhteissa) = tilavuutena 12 m³
- käytetään paineistettuna tai nesteytettynä
 - paineistettuna
 - 300 bar (tiheys 20 kg/m³) henkilöauto
 - 700 bar (tiheys 40 kg/m³) raskas kalusto
 - nesteytettynä lämpötilassa -253 °C (tiheys 70,8 kg/m³)

Energy density of fuels



Lähde: Fuel energy density: What is it and why is it important? - Visualizing Energy



Euroopan unionin
osarahoittama