

Solu- ja molekyylibiologian perusteet

# Veden kemialliset ominaisuudet

## Miksi olemme vettä?

# Vesi on elintärkeää kaikelle elämälle

Vesi on tärkein biologinen yhdiste planeetallamme

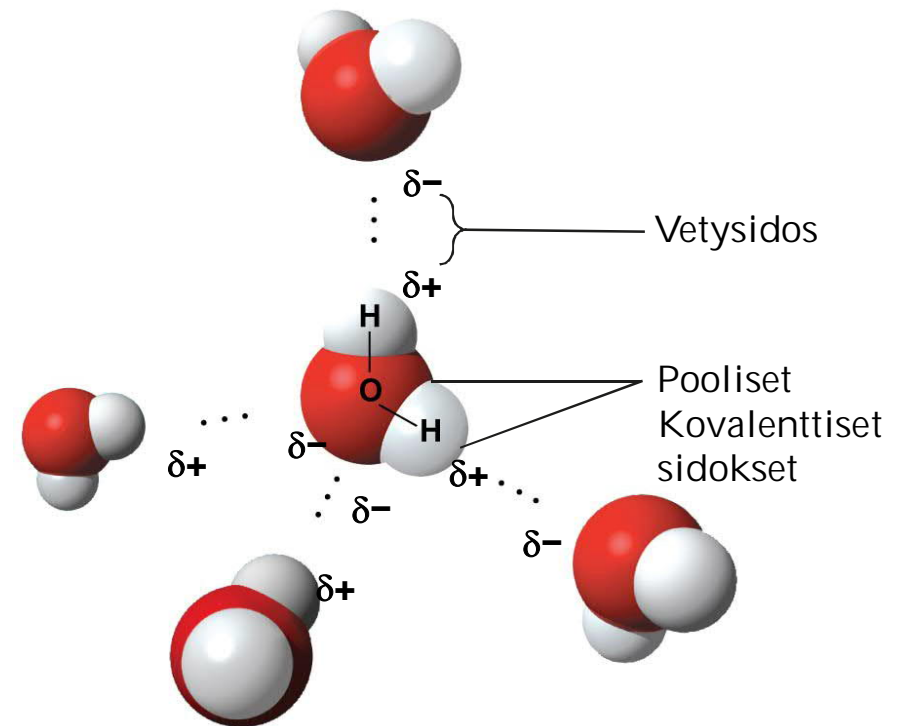
- Vesi ympäröi suurta osaa eliöistä. Lisäksi on tärkeä komponentti myös solujen ulko- ja sisäpuolella
- Veden puute on vakava riski eliöille kuumuuden lisäksi myös merivedessä tai eliön jäätyessä.
- Vesi on ainoa yhdiste, joka esiintyy kaikissa kolmessa olomuodossaan luonnollisessa ympäristössä
- Veden rakenne vaikuttaa molekyylien välisiin vuorovaikutuksiin
  - Jako vesiliukoisiin ja rasvaliukoisiin aineisiin



# Vesimolekyylien pooliset kovalenttiset sidokset mahdollistavat vetysidokset

Happi on vetyä elektronegatiivisempi, joten se vetää elektroneja enemmän puoleensa

- Elektronit ovat pääasiassa happiatomin ympärillä, jolloin on muodostunut poolinen kovalenttinen sidos.
- Koska vedyt eivät sijaitse vesimolekyylissä hapen vastakkaisilla puolilla, on koko molekyyli poolinen (toinen pää molekyylistä on negatiivisesti varautunut).
- Poolisuus mahdollistaa vetysidokset molekyylien välille



# Vedellä on neljä ominaisuutta, jotka vaikuttavat sen biologiseen rooliin



# Miten vesi (H<sub>2</sub>O) eroaa rikkivedystä (H<sub>2</sub>S)

<sup>8</sup>O  
16,00

<sup>16</sup>S  
32,07

<sup>34</sup>Se  
78,96

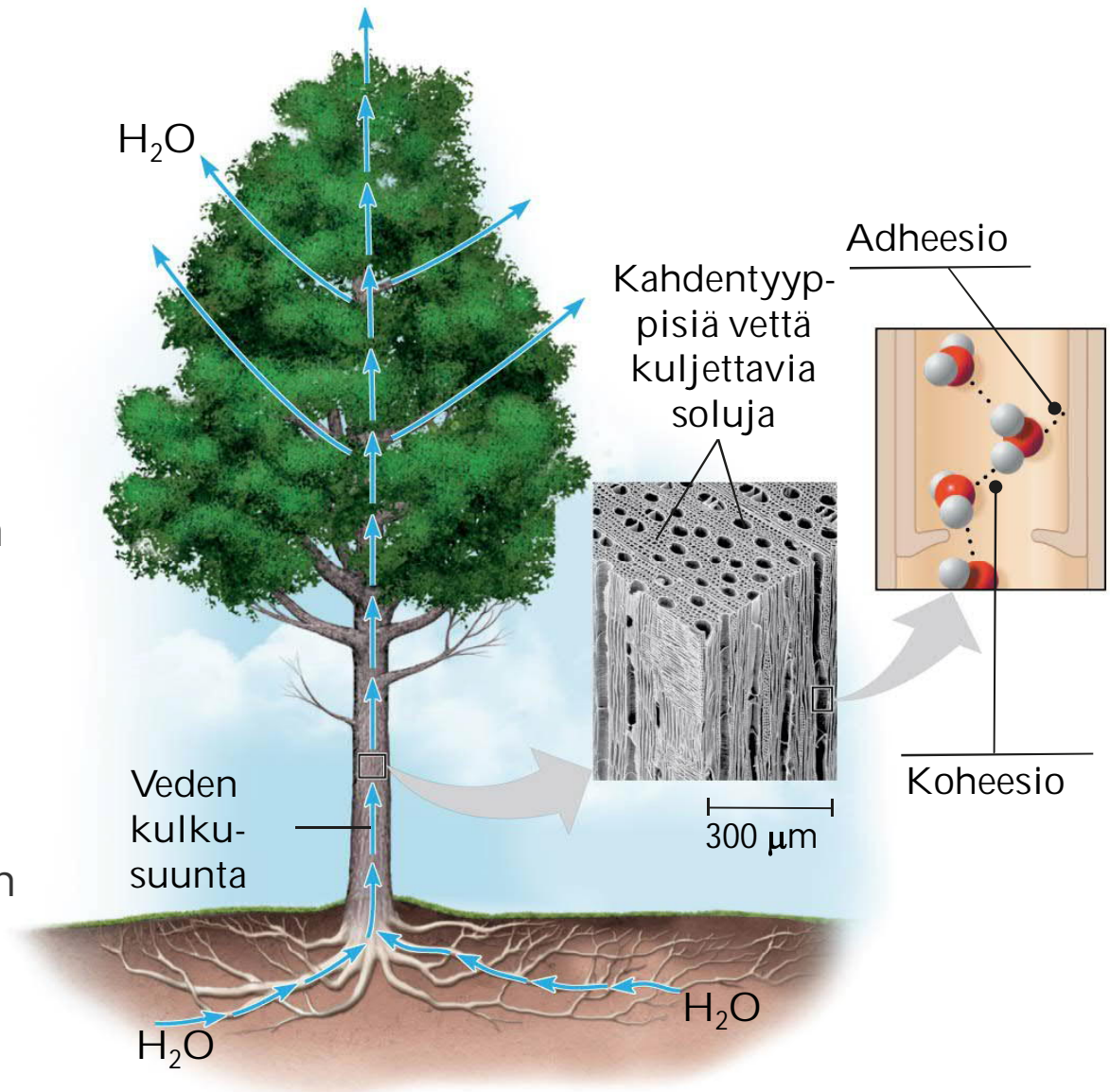
Ominaisuus	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S
Molekyylipaino (g/mol)	18,02	34,08
Sulamispiste (°C)	0	-86,7
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	1000	949,2
Kiehumispiste (°C)	100	-60,3
Höyrystymisenergia (kJ/mol)	40,7	18,6
Muodostumisentalpia (kJ/mol)	-285,83	-39,7
Gibbsin vapaa energia (kJ/mol)	-237,13	-27,83
Lämpökapasiteetti (J/K/mol)	75,375	1,003



# Koheesio ja adheesio

Kun suuri määrä vesimolekyylejä vuorovaikuttaa vetysidoksilla, tapahtuu koheesiota

- Koheesio mahdollistaa veden siirtymisen kasveissa ylöspäin
- Vaikuttaa myös muuten arjessa: vaatteet kastuvat vain, jos kangas vetää vesimolekyylejä koheesiota enemmän puoleensa.
- Adheesiossa vesi tarttuu muihin aineisiin (kuten kasvien soluseiniin)
- Adheesiota havaitaan myös nesteen nousun astian reunoilla (meniskus)



# Koheesio ja pintajännitys

Vesimolekyylien väliset vuorovaikutukset ovat niin voimakkaita, että se aiheuttaa pintajännityksen.

- Vesimolekyylien välinen vuorovaikutus on suurempaa kuin veden ja pinnalla liikkuvan hyönteisen.
- Pintajännitystä voidaan vähentää esim. saippualla, mikä helpottaa esim. vaatteiden kastumista.





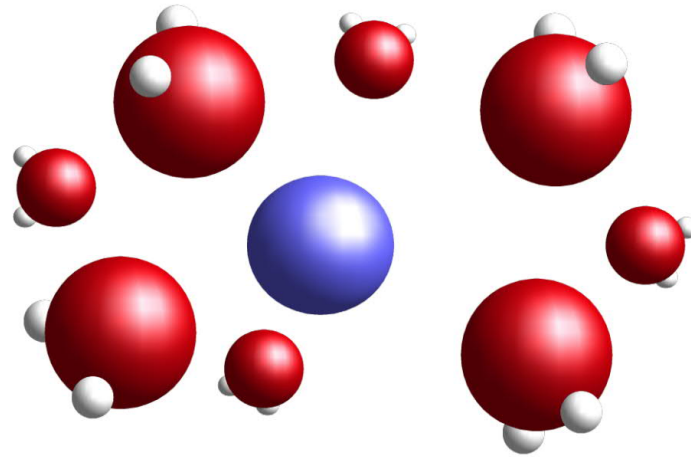
# Kiitos!



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

[uef.fi](http://uef.fi)





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

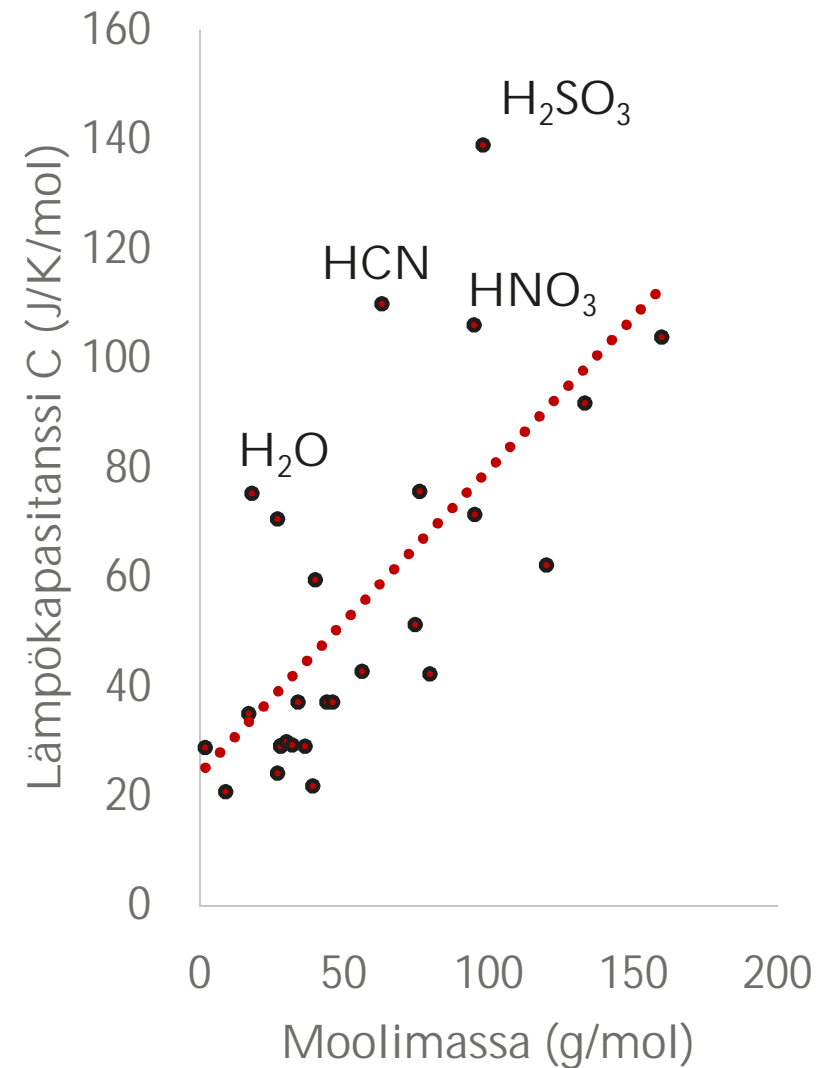
# Veden kemialliset ominaisuudet

## Vesi, lämpö ja paine

# Lämpöenergian kertyminen veteen

Vesi absorptio (imee) itseensä lämpöenergiaa lämpimästä ilmasta ja vapauttaa lämpöenergiaa kylmällä ilmalla.

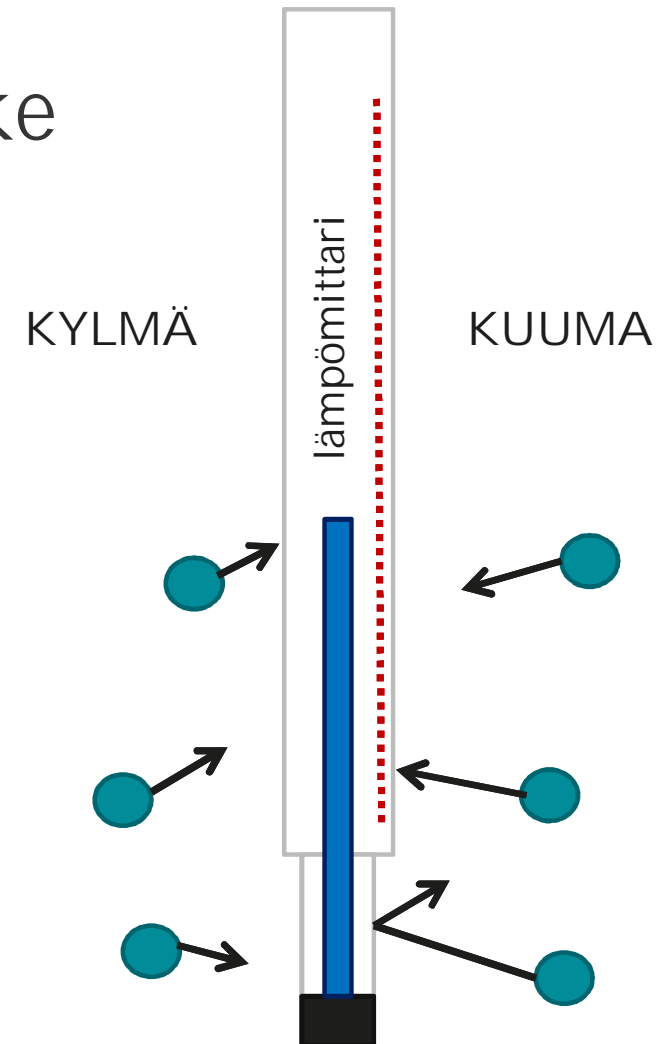
- Mökkilaiturilla on helteellä viileämpää
- Vesi pystyy kokoonsa nähden imemään ja luovuttamaan poikkeuksellisen paljon lämpöenergiaa
- Veden lisäksi myös tyypiyhdisteet sitovat paljon lämpöä



# Lämpöenergia ja molekyylien liike

Lämpötilan kohoaminen lisää molekyylien liikettä, jolloin ne törmäilevät toisiinsa ja astian seiniin enemmän.

- Liikettä kuvataan kineettisenä (liike-) energiana.
- Lämpötila mittaa molekyylien keskimääräistä liike-energiaa
  - Absoluuttinen nollapiste tarkoittaa, että molekyyliessä ei havaita mitään liikettä.
  - Lämpötilan kasvaessa tarpeeksi, liike-energia on suurempi kuin vesimolekyylien väliset vetysidokset (vesi höyrystyy)



# Energia yksiköt

Energian yksikkö on joule, joka mittaa työtä, joka tehdään, kun 1 newtonin voima siirtää kappaletta metrin.

- Yksikkö on käytännöllinen, koska se sellaisenaan moneen sovellukseen: paine (Pa), työ (W) jne

$$J = Nm = Pam^3 = Ws$$

- Vanhentunut yksikkö kalori (cal) kuvaa hyvin lämpöenergian kertymisessä (ja on muutenkin yleisesti käytössä)
  - 1 kalori vastaa lämpö määrää, joka lämmittää gramman vettä 1°C
- Molemmista yksiköistä käytetään yleensä kerrannaisyksiköitä ja ne voidaan muuttaa toisikseen kertolaskulla

$$1kcal = 1000cal; 1MJ = 1000000J$$

$$J = 0.239 * cal$$

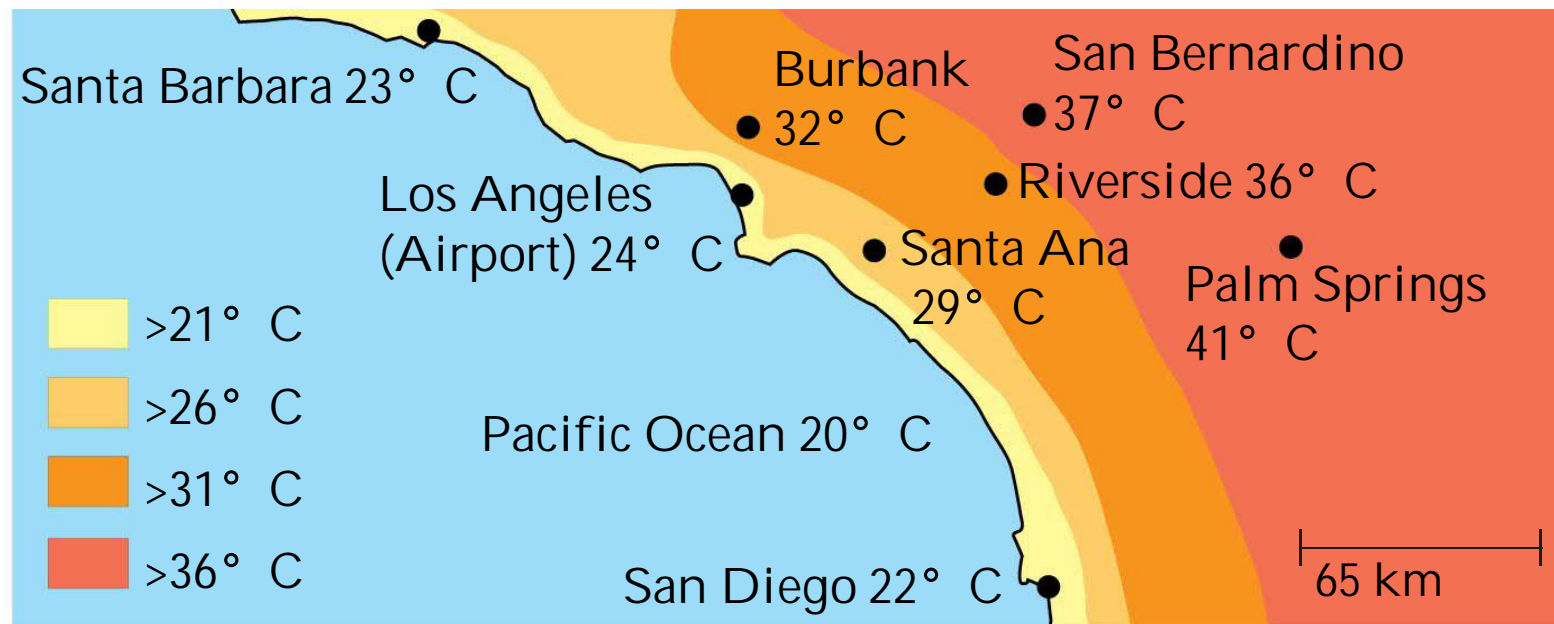
# Veden korkea lämpökapasiteetti johtuu vetysidoksista

Lämmitys lisää vesimolekyylien liikettä, jolloin vetysidoksia katkeaa.

- Vetysidosten katkeaminen vaatii energiaa, jolloin energiaa imeytyy veteen paljon enemmän kuin se saa aikaan vesimolekyylien liikkumista.
  - Tämä aiheuttaa korkean lämpökapasiteetin.
- Vastaavasti jäähtyessä muodostuvat vetysidoksen vapauttavat energiaa, jolloin energiaa vapautuu enemmän kuin vesimolekyylien liike hidastuu.
  - Veden jäätyminen lisää vetysidosten määrää, jolloin jäätymiseen tarvitaan huomattavasti energiaa.

lämpötila	H-sidoksia
100°C	3,24
25°C	3,59
0°C	3,69
jää	≈4

# Rannikolla on helposti viileämpää kuin sisämaassa

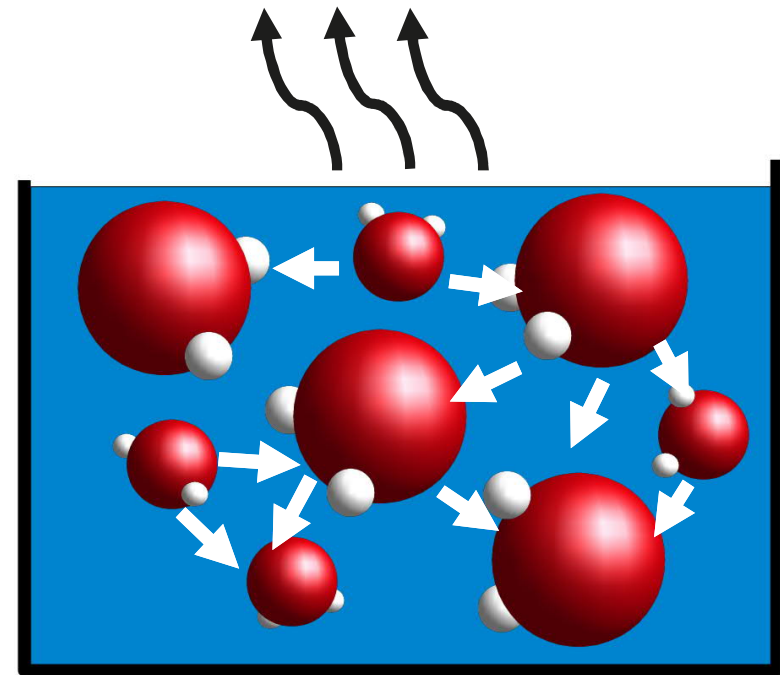




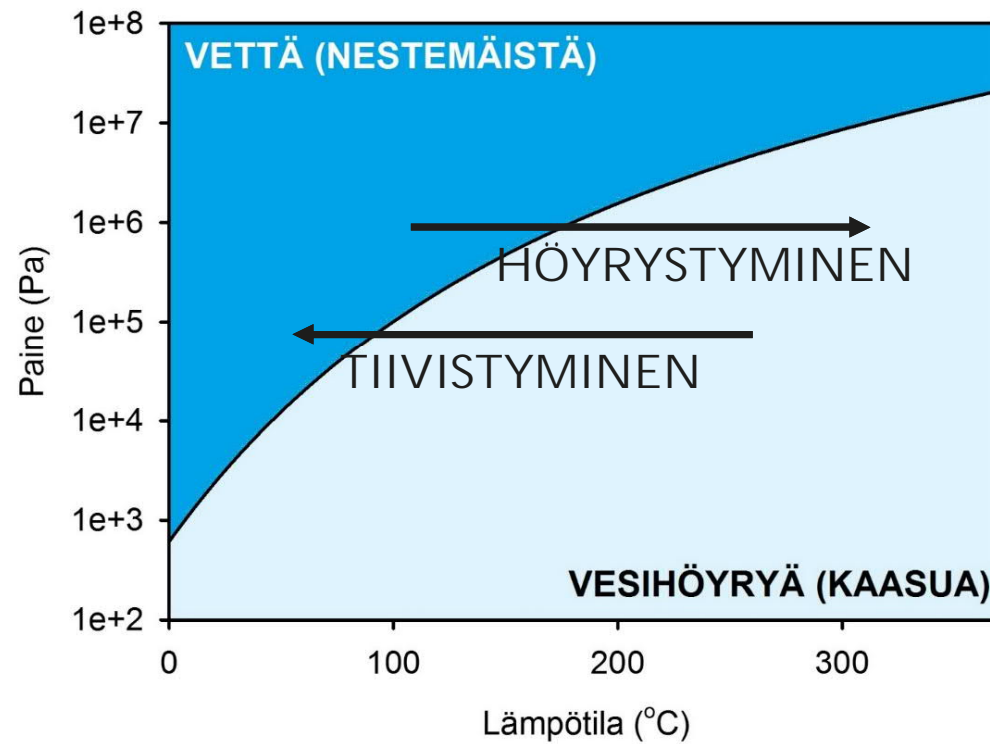
# Veden jäätyminen ja kiehuminen

Veden kiehuu  $100^{\circ}\text{C}$ :ssa ja jäätyy  $0^{\circ}\text{C}$ :ssa

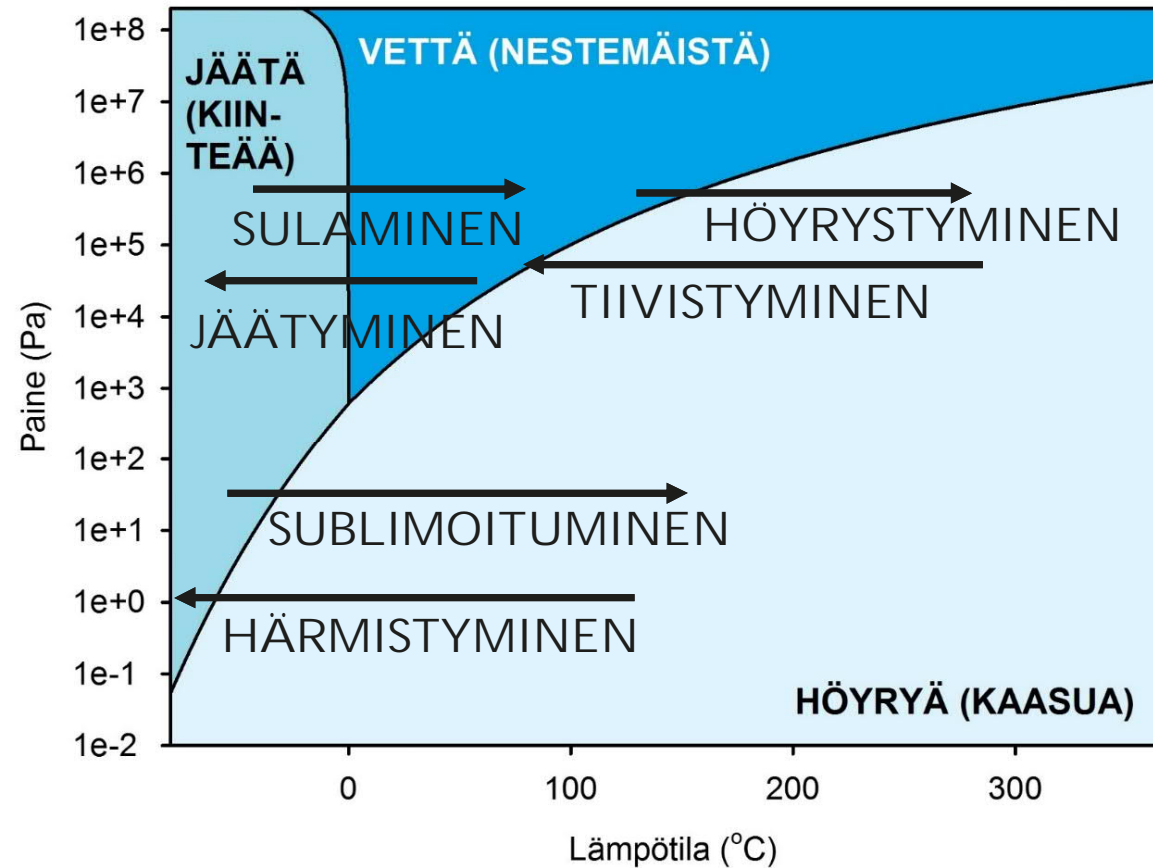
- Korkea kiehumispiste on selitettävissä vesimolekyylien välisillä vuorovaikutuksilla (vetysidoksilla)
- Painekeittilassa ruoka kypsyy nopeammin, koska se kiehuu korkeammassa lämpötilassa.
  - Siten paine vaikuttaa ainakin kiehumispisteeseen.
- Myös jäätyminen riippuu paineesta, suolapitoisuudesta ja veden tiheydestä.
  - Tuulilasinpesuneste ei jäädy talvella ja jää muodostuu järven pintaan.



# Kiehumispiste ja paine



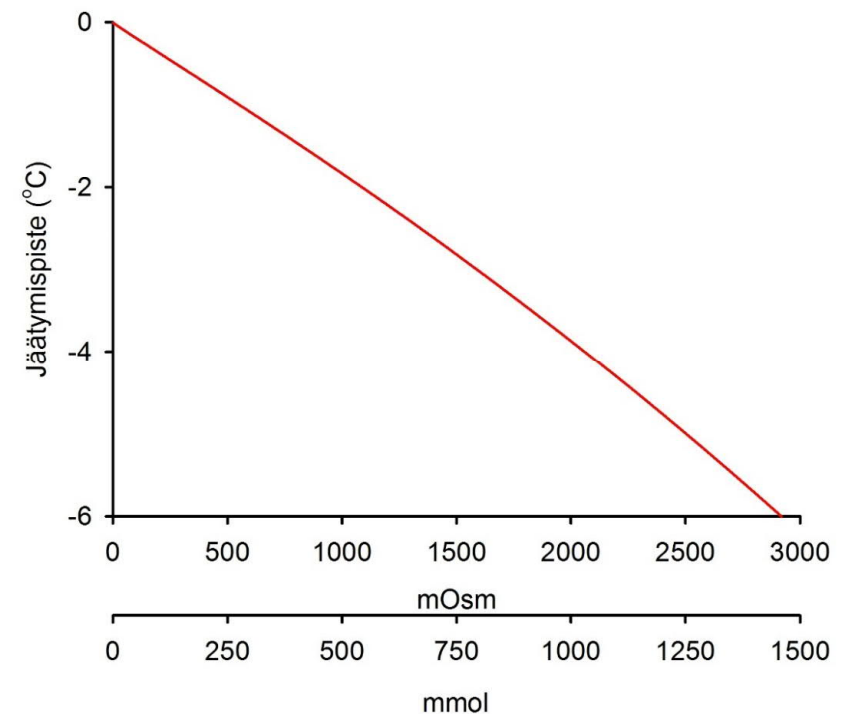
# Veden faasidiagrammi



# Jäätymispiste ja suolapitoisuus

Paineen lisäksi jäätymispisteeseen vaikuttaa myös veden suolapitoisuus

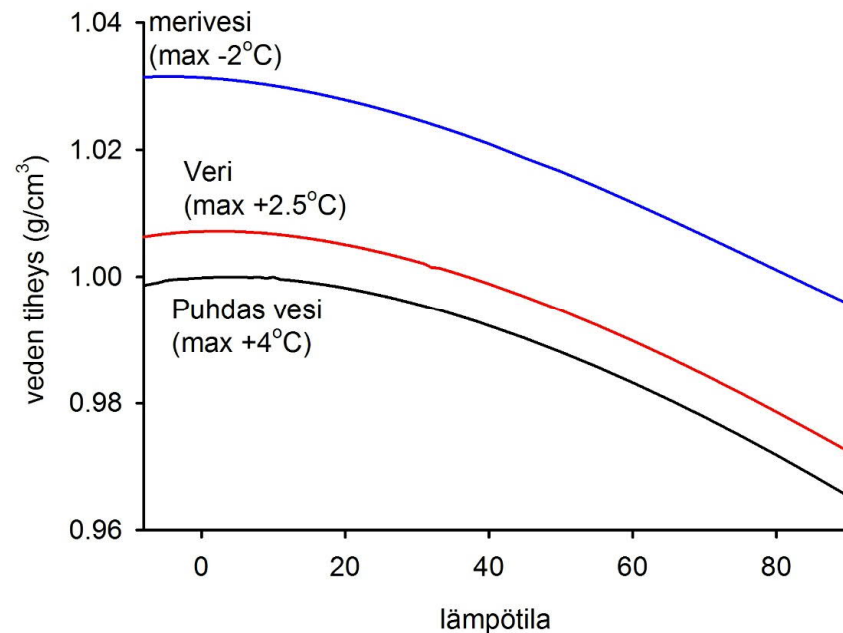
- Suola (tai minkä tahansa liukeneva aine) alentaa veden jäätymispistettä
- Vaikutus on pieni, mutta vaikuttaa esim. Eteläisellä Jäämerellä, jossa veden lämpötila n.  $-1.6^{\circ}\text{C}$
- Siten suolainen vesi jäätyy kylmässä hitaammin kuin puhdas vesi.
- Osmoottinen väkevyys voidaan helposti laskea täysin veteen liukenevilla suoloilla.

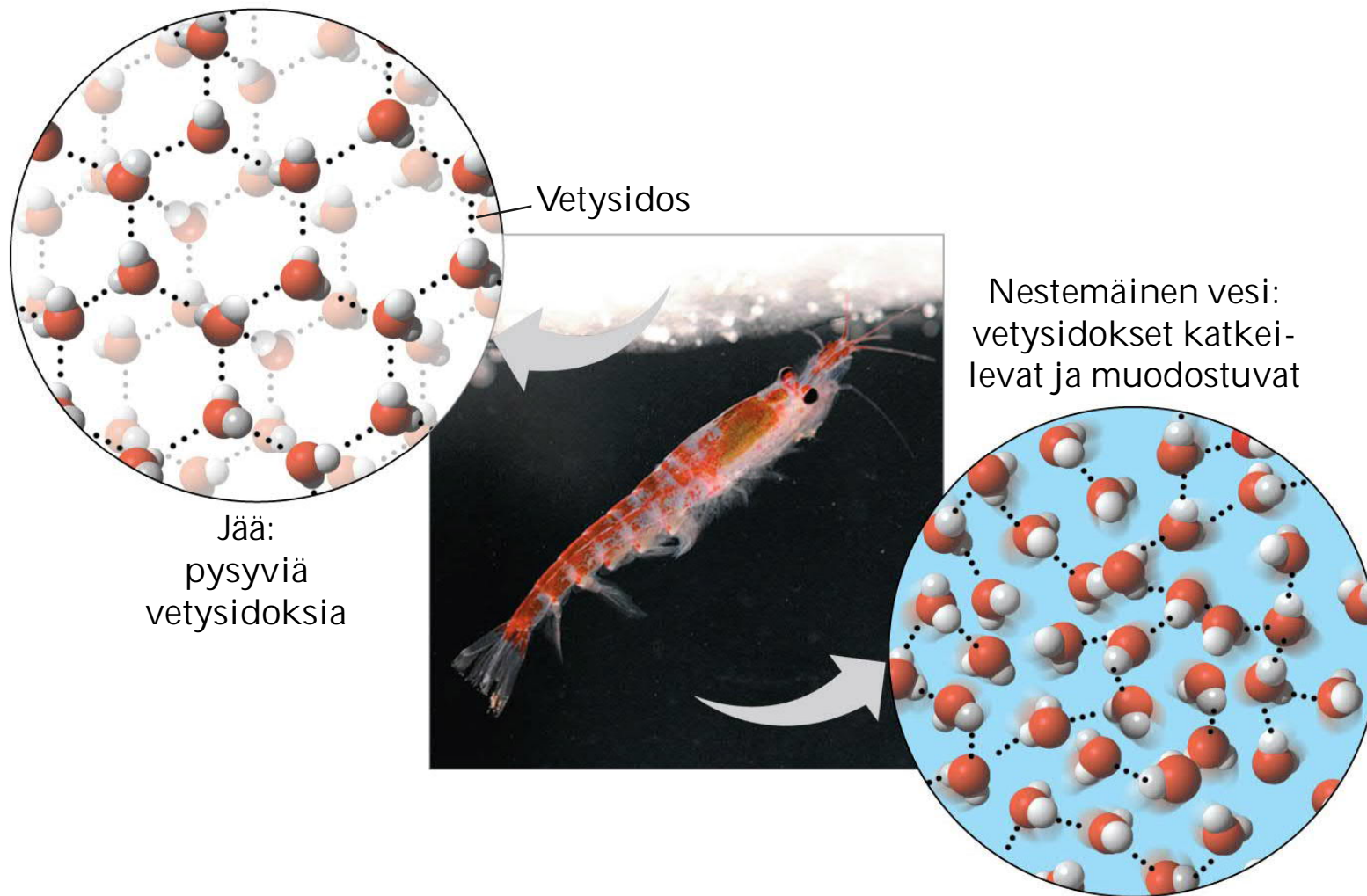


# Veden tiheys, lämpötila ja suolakoostumus

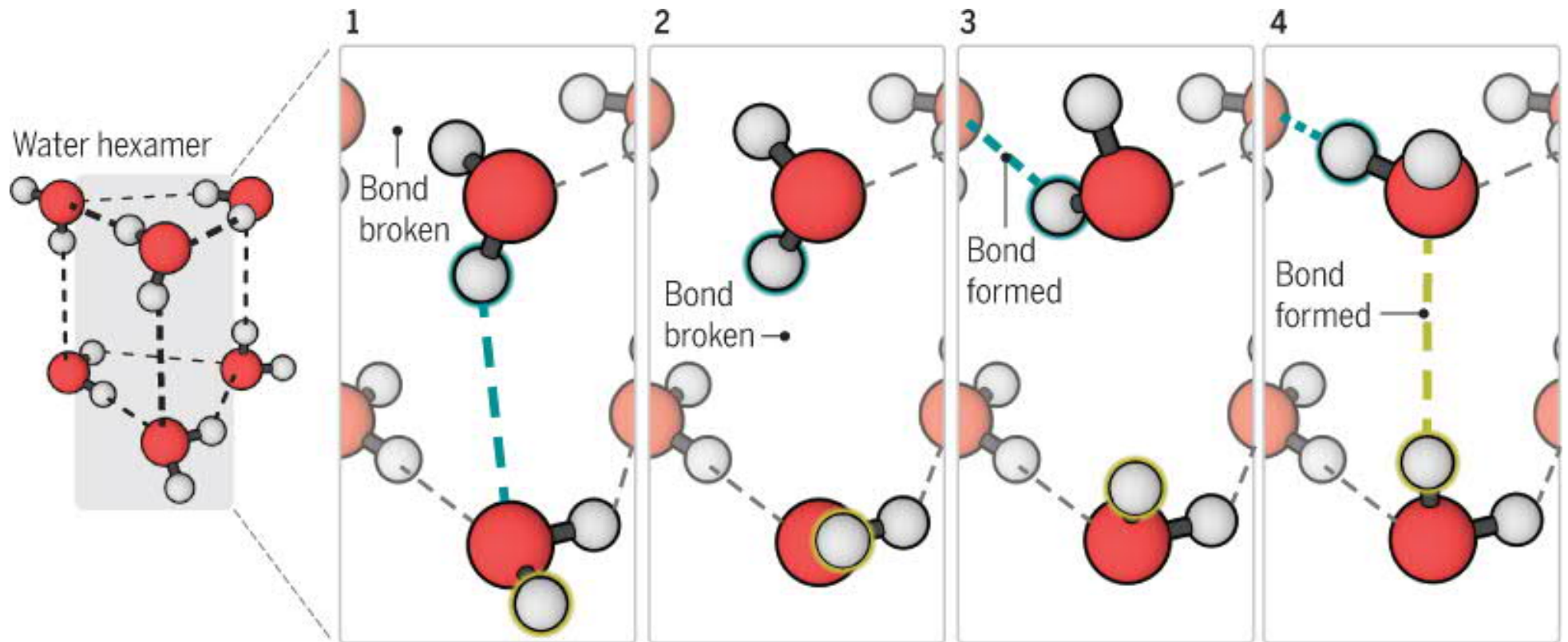
Veden tiheys riippuu sen lämpötilasta ja suolapitoisuudesta.

- Veden tiheys on korkeimmillaan +4°C:ssa.
- Kylmemmässä veden pakkautuminen muuttuu, jolloin tiheys alenee (tarvitaan enemmän tilaa).
- Aiheuttaa jään kellumisen veden pinnalla.
- Veri on vettä sakeampaa eli veren tai meriveden tiheys on puhdasta vettä suurempi. Suolainen vesi pysyy siten meren pohjassa.





# Veden rakenne on edelleen ajankohtainen aihe





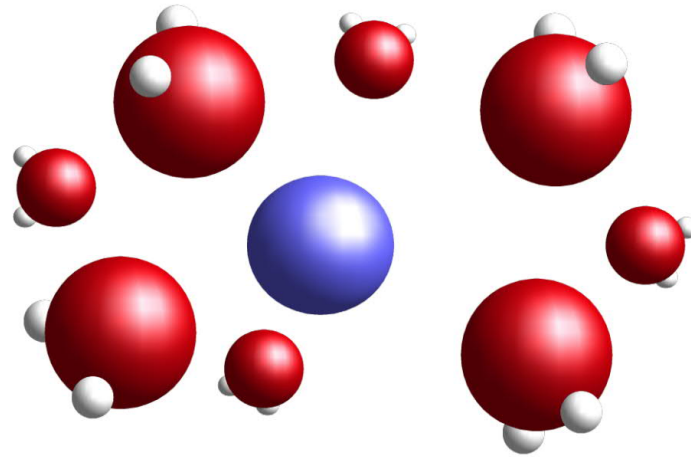
# Kiitos!



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

[uef.fi](http://uef.fi)





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

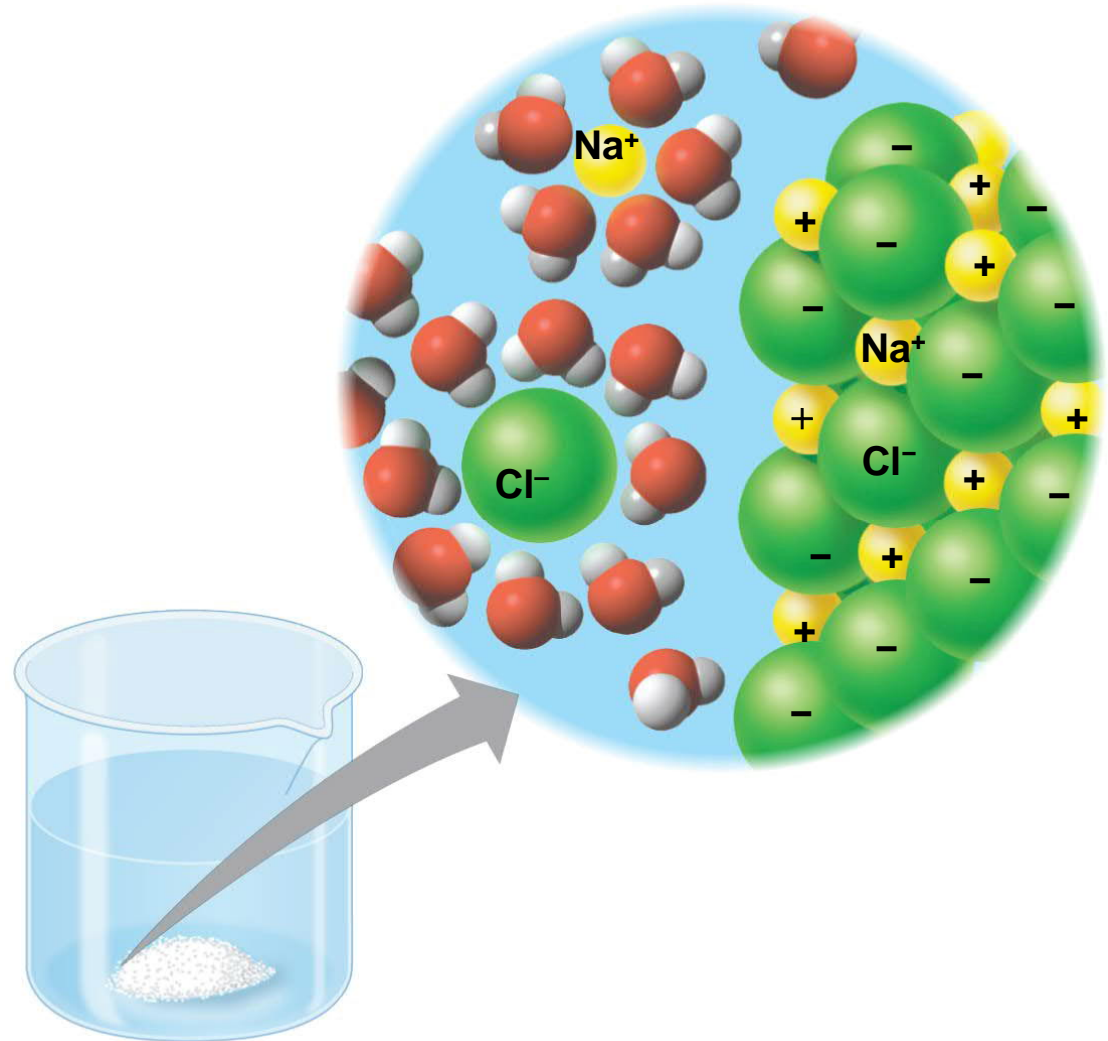
# Veden kemialliset ominaisuudet

## Vesi liuottimena

# Vesi liuottimena

Liuos on homogeeninen nestemäinen seos

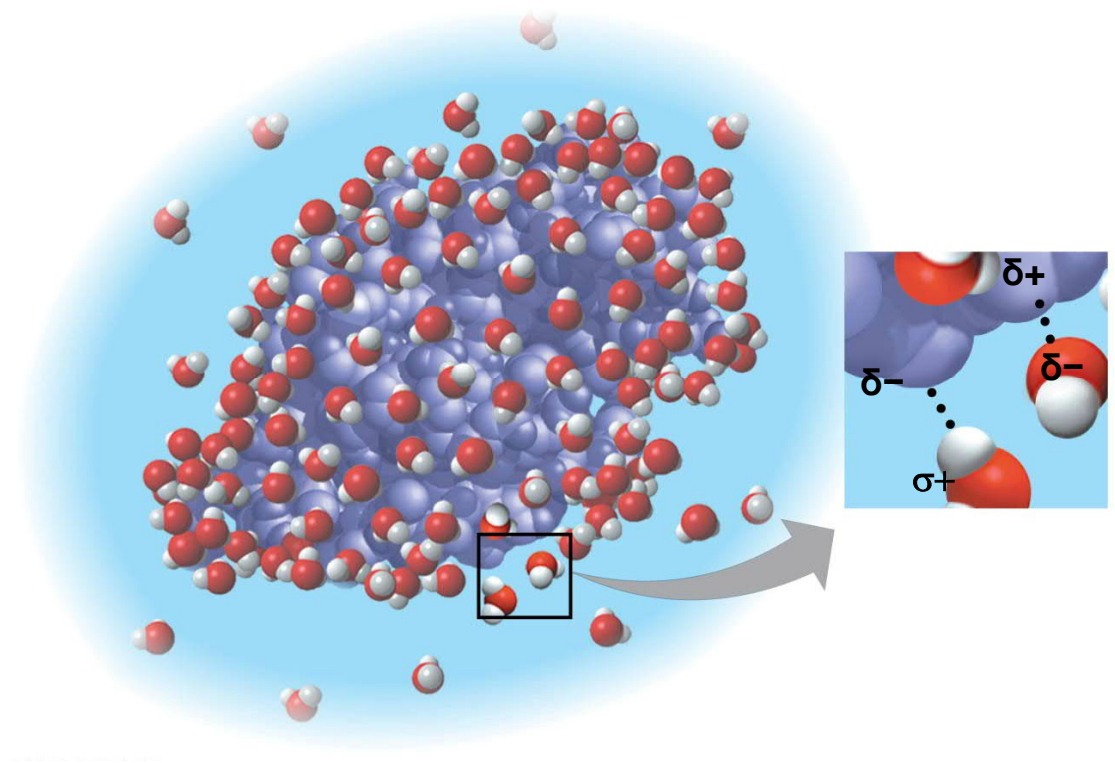
- Liuotin (solvent) on nesteen peruskomponentti
- Liuotettava aine (solute) on aine, jota seokseen on liuotettu
- Vesiliuoksissa vesi toimii liuottimena, joka ympäröi liuotettavia aineita.



# Entä muut kuin suolat?

Vesi liuottaa myös varauksettomia molekyylejä

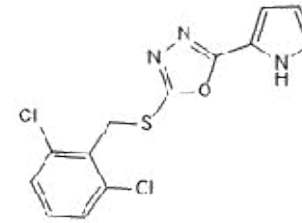
- "Suolan lisäksi myös sokeri liukenee veteen"
- Tärkein ominaisuus pooliset sidokset liukenevassa molekyylissä.
- Liukeneviin aineisiin kuuluu myös proteiineja, joilla on poolisia osia.
- Proteiinin rakentuu pitkälti osien vesiliukoisuuden mukaan



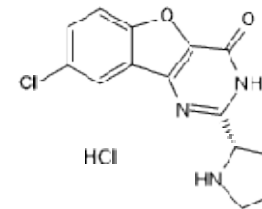
# Vesi ja rasvaliukoiset aineet

Aineet voidaan jakaa karkeasti vesi- ja rasvaliukoisiin

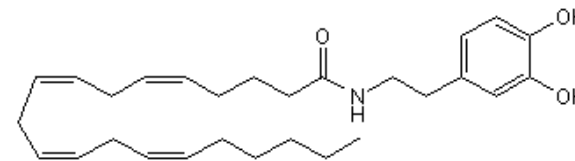
- Vesiliukoiset (hydrofiiliset) vuorovaikuttavat veden kanssa vety- tai ionisidoksilla
  - Hapot, emäkset (varaukset), happi tai typpiryhmät (pooliset sidokset)
- Rasvaliukoiset (hydrofobiset) eivät muodosta vetysidoksia veden kanssa
  - Rasvat (esim. öljy), jotka koostuvat pitkästä hiiliketjusta



Dooku  
Piezo-kanavan estäjä,  
rasvaliukoinen



XL 413 hydrokloridi  
Cdc7 estäjä,  
vesiliukoinen



NADA  
Kannabinoidireseptorin  
aktivoija  
rasvaliukoinen

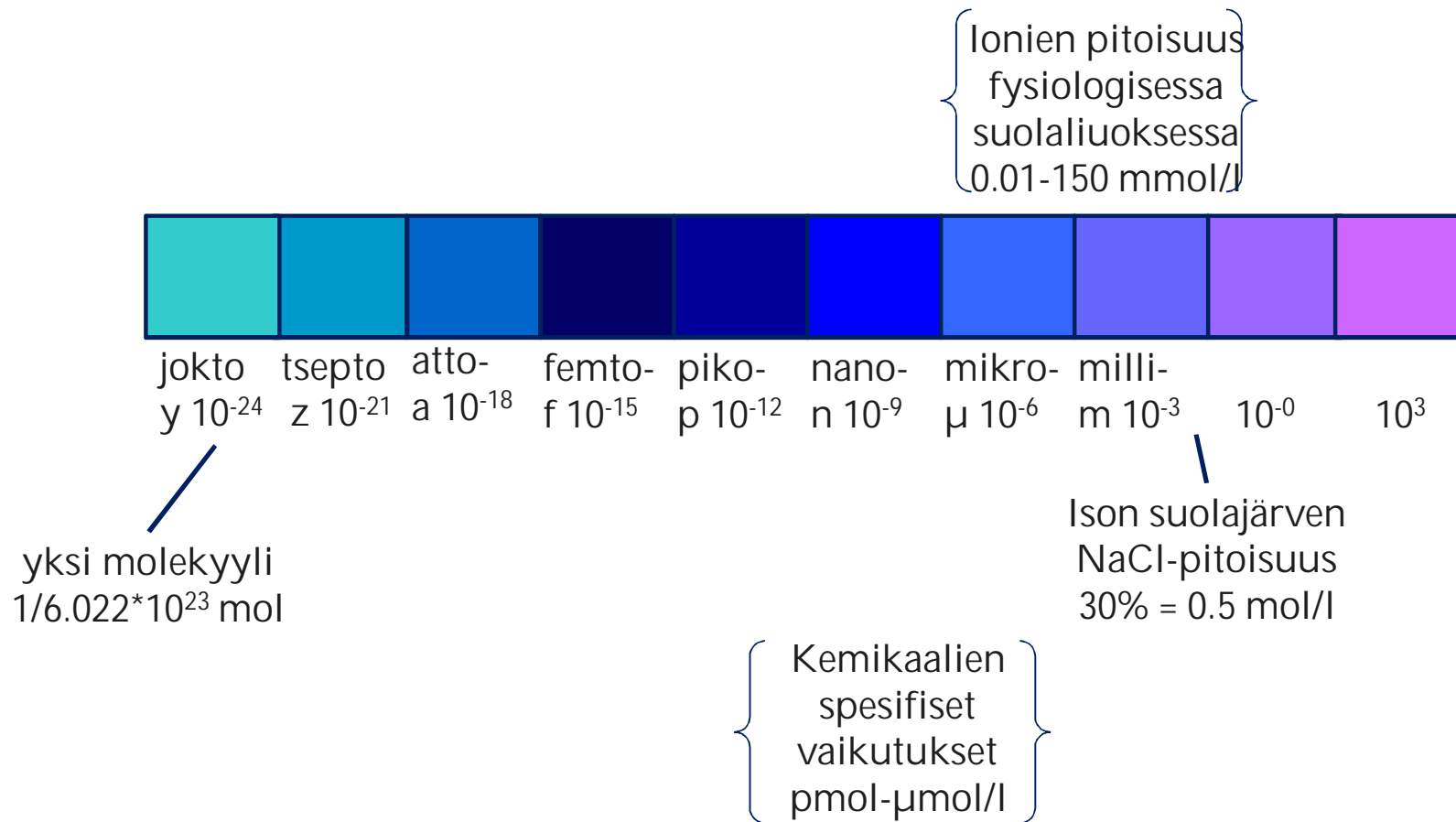
# Pitoisuus

Pitoisuus (c) lienee kaikkein yleisin biologisessa laboratoriotyöskentelyssä käytetty yksikkö.

- Periaatteessa pitoisuuden yksikkö voi olla mitä vain: g/l, ml/l, kpl/l
- Yleensä pitoisuutta merkitään molaarisuutena M, joka tarkoittaa moolia yhdistettä litrassa liuotinta (mol/l).
- Pitoisuus merkitään usein molekyylikaavalla, jonka ympärillä on hakasulut: [M]

$$c = \frac{n}{V}$$

- Siten pitoisuus riippuu lisättävien partikkelien määrästä (n) ja (vesi-)liuoksen tilavuudesta (V).





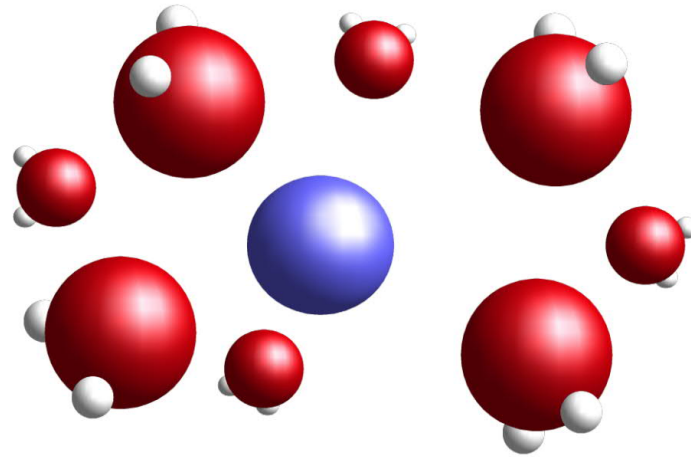
# Kiitos!



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

[uef.fi](http://uef.fi)





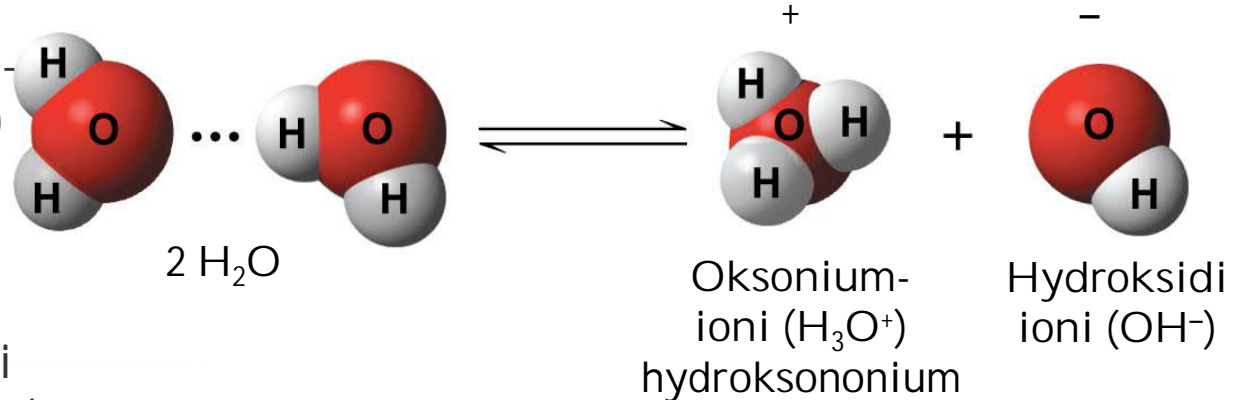
Solu- ja molekyylibiologian perusteet

# Veden kemialliset ominaisuudet Happamuus ja emäksisyys

# Happamuus ja emäksisyys

Varautuneiden vetyatomien määrä aiheuttaa liuoksen happamuuden ja emäksisyyden

- Vetyatomi muodostaa vetysidoksia vesimolekyylien välillä ja sen ydin (protoni) voi vaihtaa tilapäisesti "isäntä"-molekyyliä
- Kun vetyatomin ydin irtoaa vesimolekyylistä, siitä vapautuu protoni eli positiivisesti varautunut vety-ioni ( $H^+$ )
- Jäljelle jäänyttä molekyyliä kutsutaan hydroksidi-ioniksi ( $OH^-$ )
- Kun protoni liittyy vesimolekyyliin muodostuu oksonium-ioni ( $H_3O^+$ ),



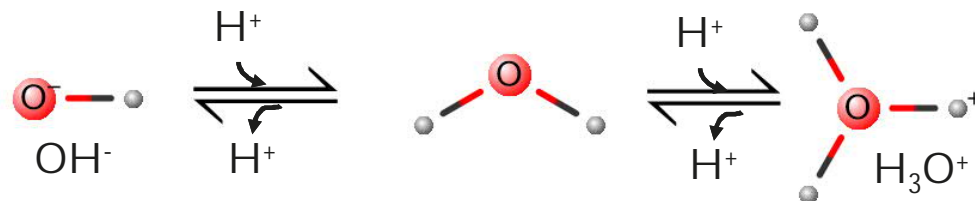
# Veden autoprotolyysi

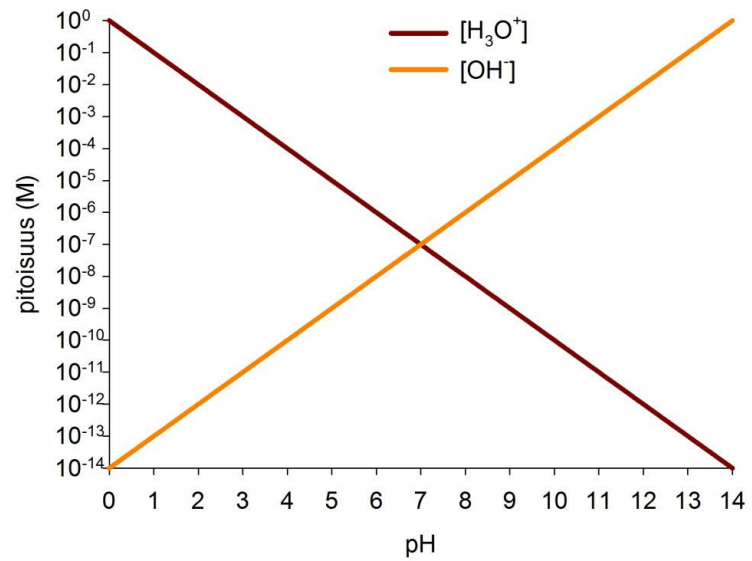
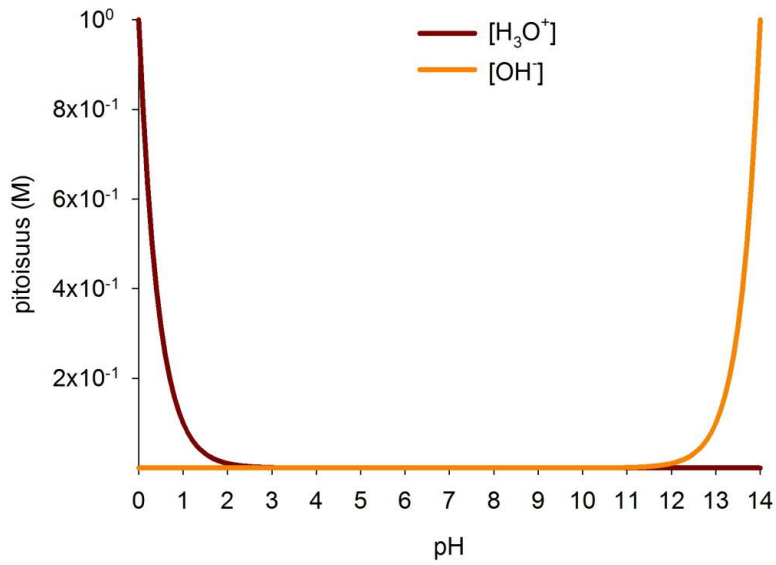
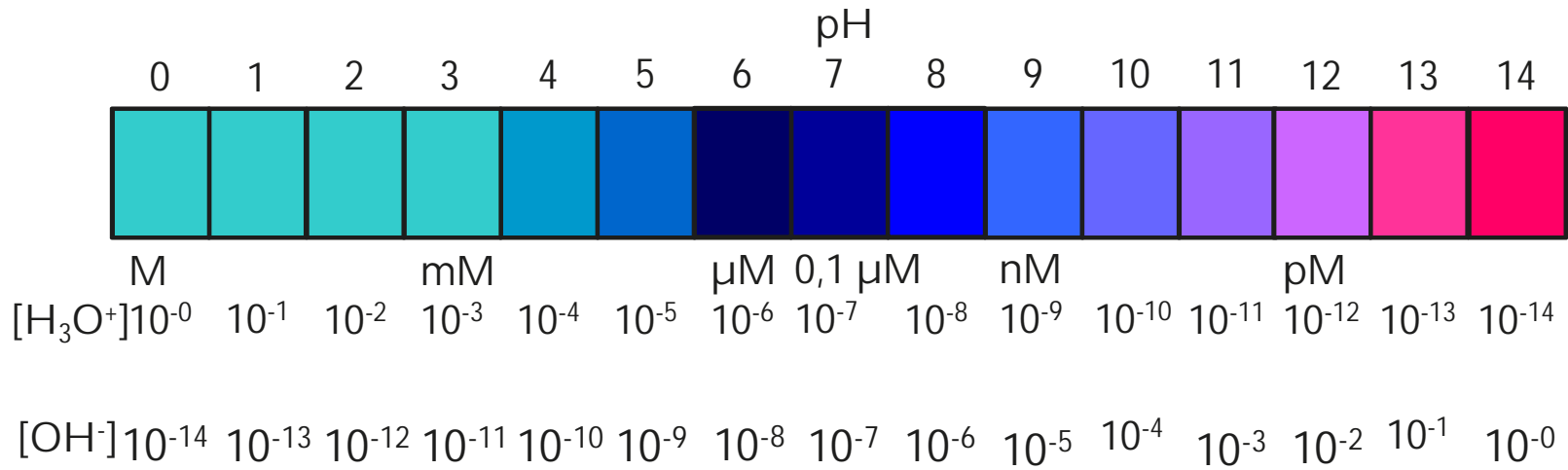
Vesimolekyylit ovat dynaamisessa tasapainossa, jossa protoneita voidaan luovuttaa ja vastaanottaa. Tätä kutsutaan veden autoprotolyysiksi

- Myös puhtaassa vedessä on sekä  $\text{OH}^-$  että  $\text{H}_3\text{O}^+$  ioneja.



- Vesi toimii siis protonisiepparina. Protoneita se saa hapoilta (esim.  $-\text{COOH}$ ) ja luovuttaa emäksille (esim.  $\text{NH}_3^+$ )
- Hydroksyyli ( $\text{OH}^-$ ) ja oksonium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) -ionien pitoisuus on toisistaan riippuvainen (veden ionitulo), mihin perustuu pH-asteikko.





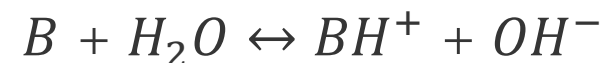
# Hapot ja emäkset

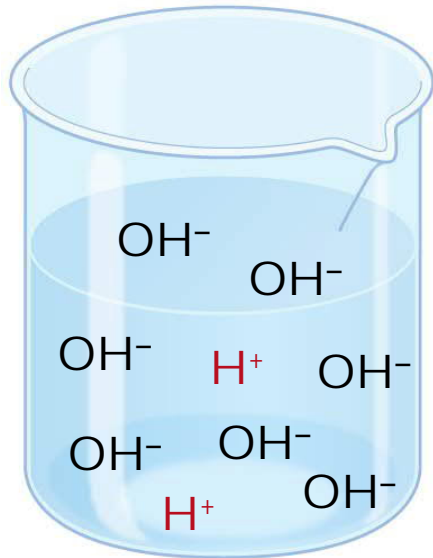
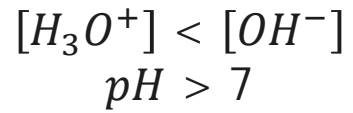
Useat aineet toimivat protoneiden luovuttajina ja vastaanottajina, jolloin ne vaikuttavat liuoksen happamuuteen

- Hapot ovat aineita, jotka lisäävät liuoksen  $H_3O^+$  pitoisuutta (protonin luovuttajat)
- Emäkset ovat aineita, jotka vähentävät liuoksen  $H_3O^+$  pitoisuutta (protonin vastaanottajat)
- Jaetaan vahvoihin (täysin hajoaviin / dissosioituviin) ja heikkoihin (osittain hajoaviin) happoihin ja emäksiin.
- Vahvojen happojen/emästen vakio  $K > 3.16 \cdot 10^{-5}$ , mikä usein kerrotaan logaritmisena asteikkona  $pK < 4.5$

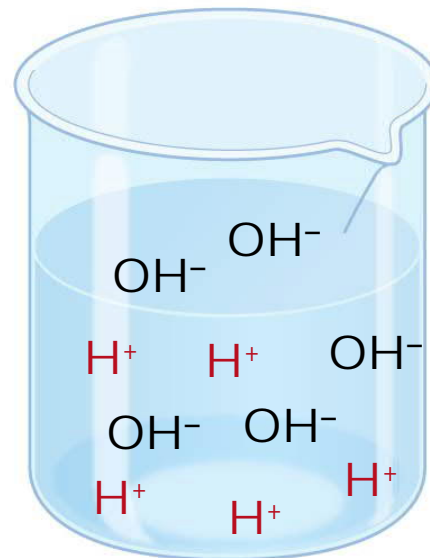
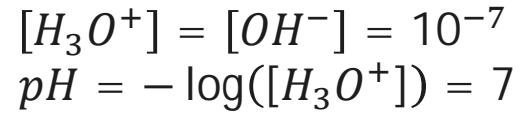


$$K_A = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[AH]}$$

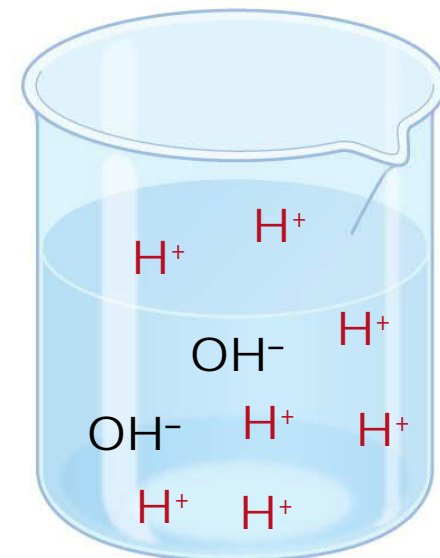
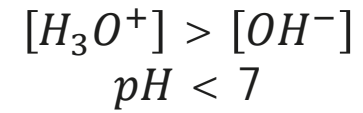




Emäksinen  
liuos

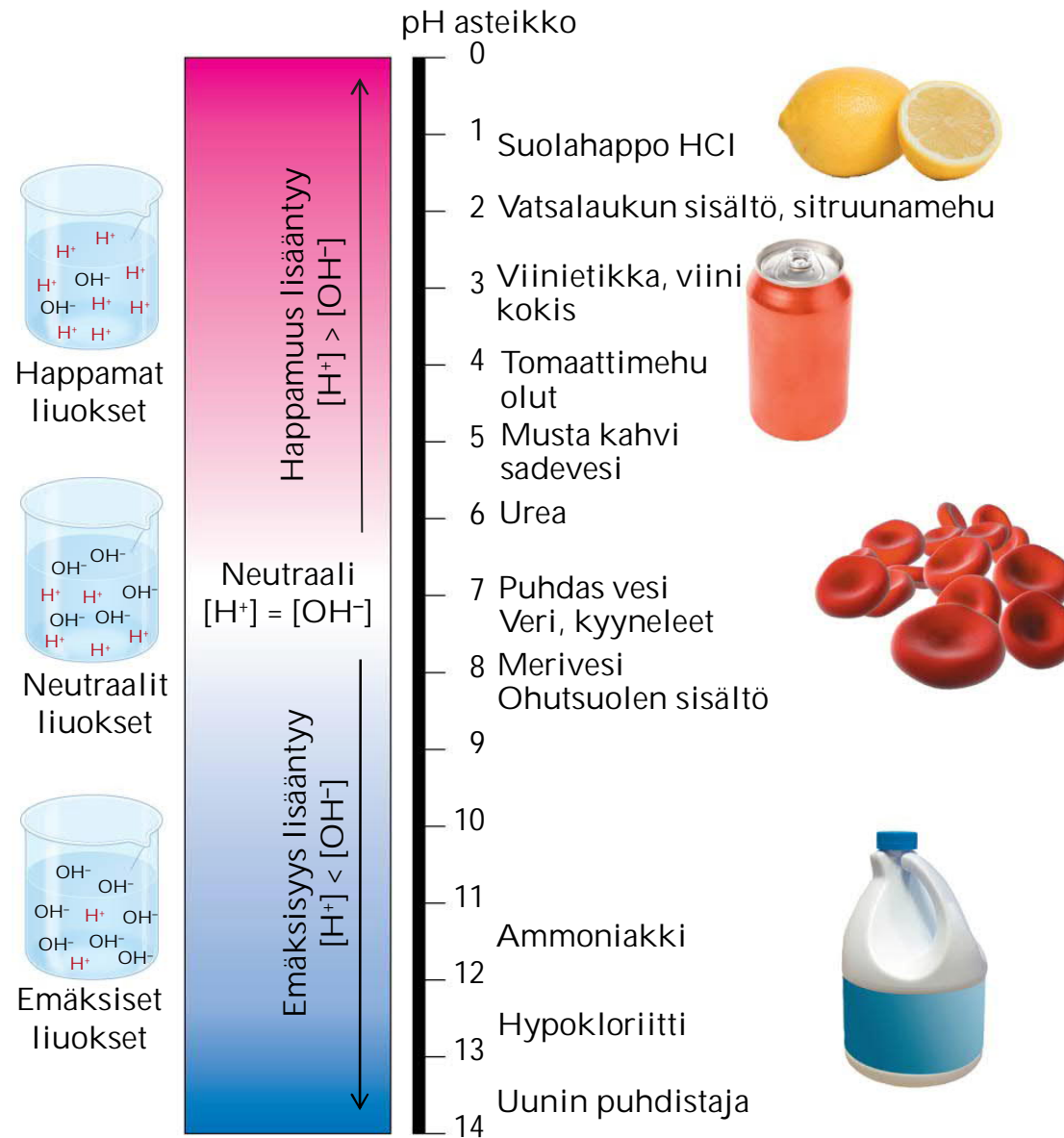


Neutraali  
liuos



Hapan  
liuos



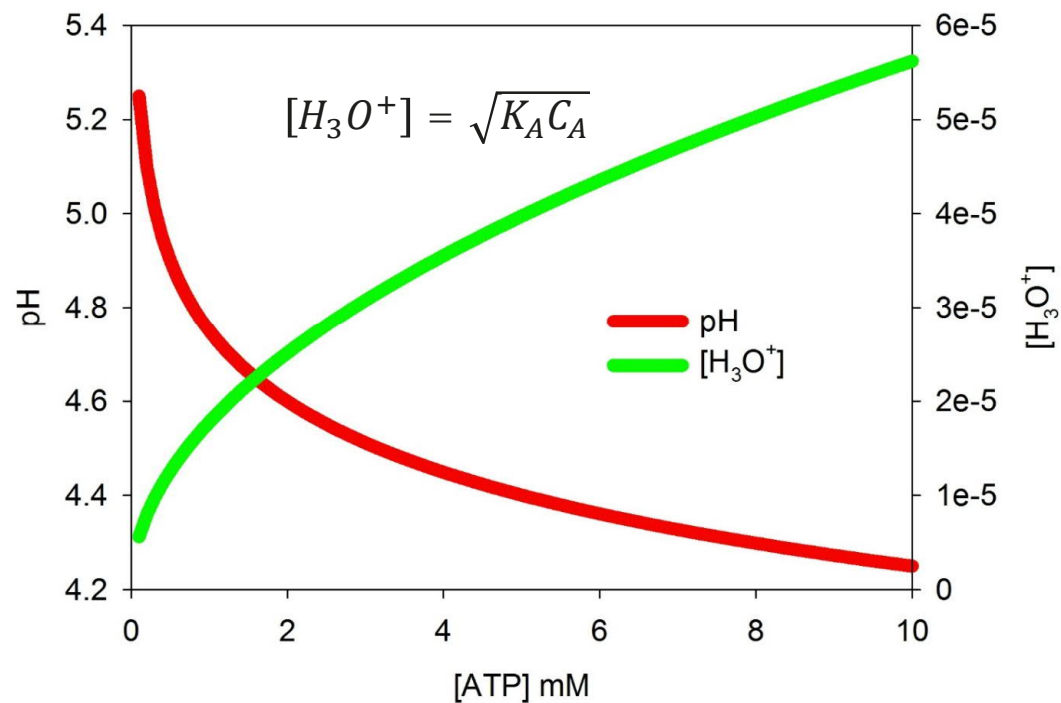


# Miten tavalliset hapot toimivat?

happo	reaktio	pK <sub>A</sub>	pK <sub>B</sub>
Suolahappo	$\text{HCl} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + \text{H}^+$	-7	21
Rikkihappo	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{H}^+$ $\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$	-3 2	17 12
Typpihappo	$\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{HNO}_2^- + \text{H}^+$	-1,4	15,4
Etikkahappo	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$	4,7	9,3

$K_A = 10^{-4,7} \approx 2 \cdot 10^{-5}$   
Siten tasapaino saavutetaan, kun  
1,000,000 etikkahappomolekyylistä  
20 on CH<sub>3</sub>COOH muodossa

# Biomolekyylit vaikuttavat ja reagoivat happamuuteen

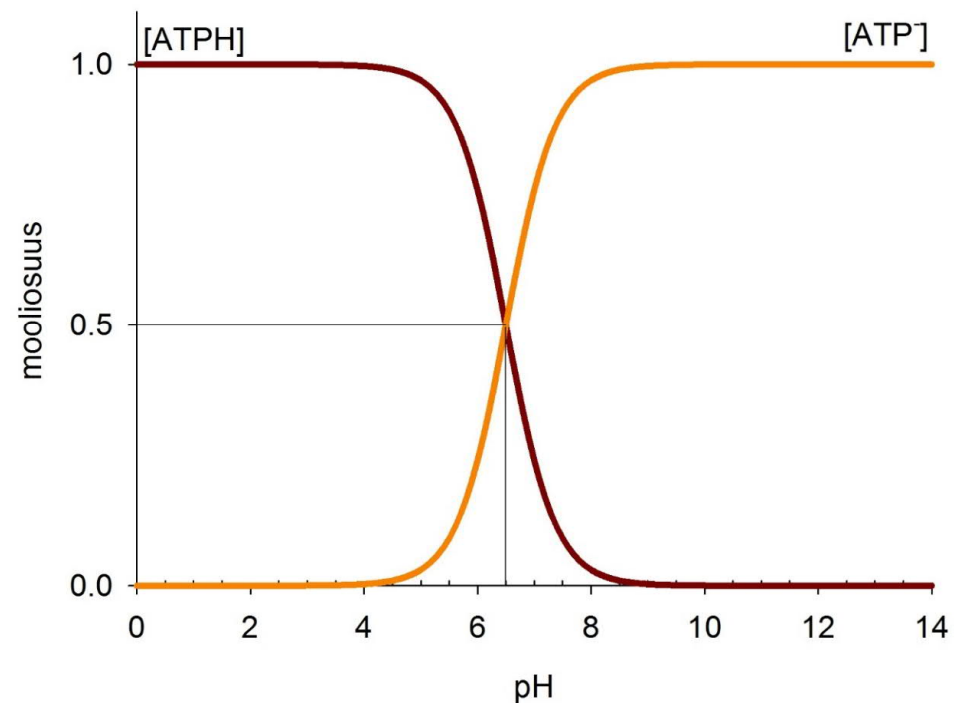


Myös monet biomolekyylit vaikuttavat liuoksen happamuuteen. Esimerkiksi ATP on kohtalaisen voimakas happo, joka etenkin suurina pitoisuuksina alentaa liuosten pH:ta.

# pH ja (bio)molekyylien varaus

Tasapainovakio (happo/ emäsvakio) kertoo happamuusvaikutuksen lisäksi myös molekyylin varauksen

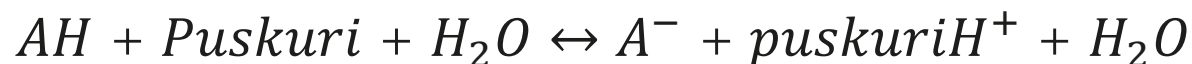
- Kun  $\text{pH} < \text{pK}_A$ , on happo protonoituna
- Kun  $\text{pH} > \text{pK}_A$ , on molekyyli luovuttanut protonin
- Protonin siirrolla on vaikutusta molekyylien varaukseen ja siten myös niiden vesiliukoisuuteen.



# Aminohapot ja pH

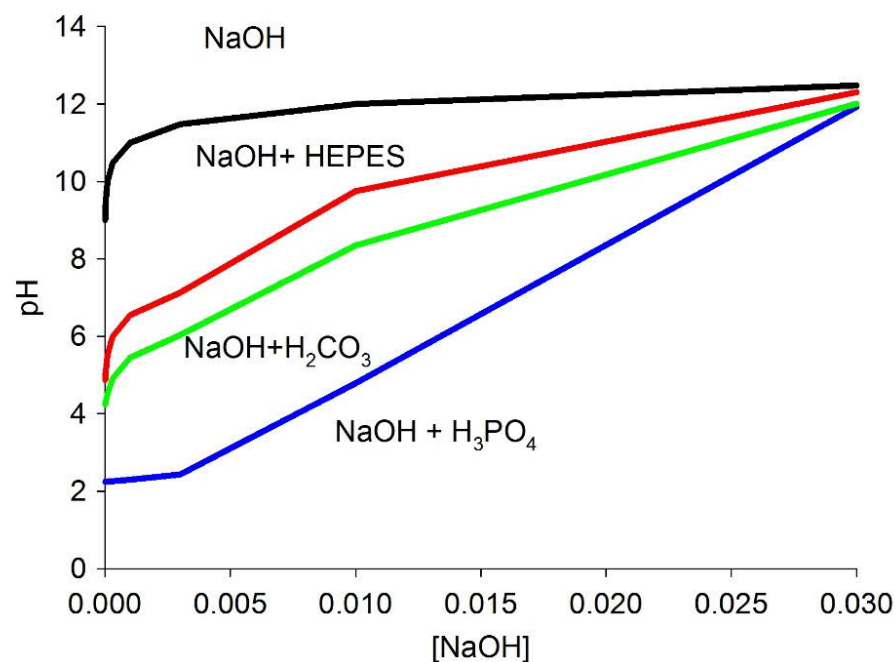
Happo/Emäs	Protolyysireaktio	pK <sub>a</sub>	pK <sub>b</sub>
Aspartaattihappo, Asp, D	$-\text{CH}_2\text{-COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_2\text{-COO}^- + \text{H}^+$	3,7	10,3
Glutamaattihappo, Glu, E	$-(\text{CH}_2)_2\text{-COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_2\text{-COO}^- + \text{H}^+$	4,3	9,7
Histidiini, His, H	$-\text{N}^+\text{H} \rightleftharpoons -\text{N}- + \text{H}^+$	6,1	7,9
Kysteiini, Cys, C	$-\text{CH}_2\text{-SH} \rightleftharpoons \text{CH}_2\text{-S}^- + \text{H}^+$	8,2	5,8
Tyrosiini, Tyr, Y	$\text{CH}_2\text{-Ph-OH} \rightleftharpoons \text{CH}_2\text{-Ph-O}^- + \text{H}^+$	10,1	3,9
Lysiini, Lys, K	$-(\text{CH}_2)_3\text{-N}^+\text{H}_3 \rightleftharpoons -(\text{CH}_2)_3\text{-NH}_2 + \text{H}^+$	10,5	3,5
Arginiini, Arg, R	$-\text{NH-C}(\text{N}^+\text{H}_2)\text{NH}_2 \rightleftharpoons -\text{NH-C}(\text{NH})\text{NH} + \text{H}^+$	12,5	1,5

# pH-puskurit



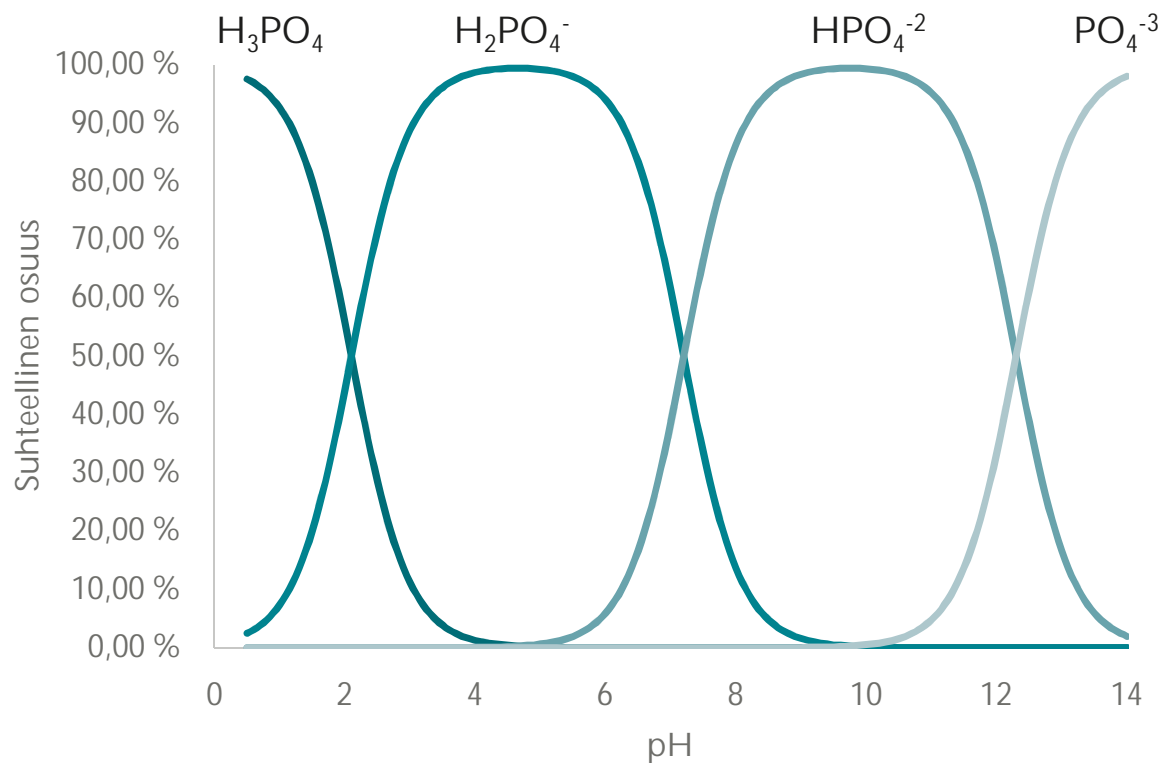
Koska happamuus vaikuttaa soluissa niin radikaalisti, ei solujen pH:n anneta muuttua vapaasti esim. maitohapon kertymisen seurauksena.

- Soluissa on erilaisia pH-puskureita, jotka ottavat vastaan tai luovuttavat protoneita, jolloin ne estävät  $[H_3O^+]$ :n muutoksia.
- Vastaavasti koetilanteissa happamuus puskuroidaan erilaisilla pH-puskuriaineilla (esim. HEPES, karbonaatti ja fosfaatti).



# pH puskurit ja pH

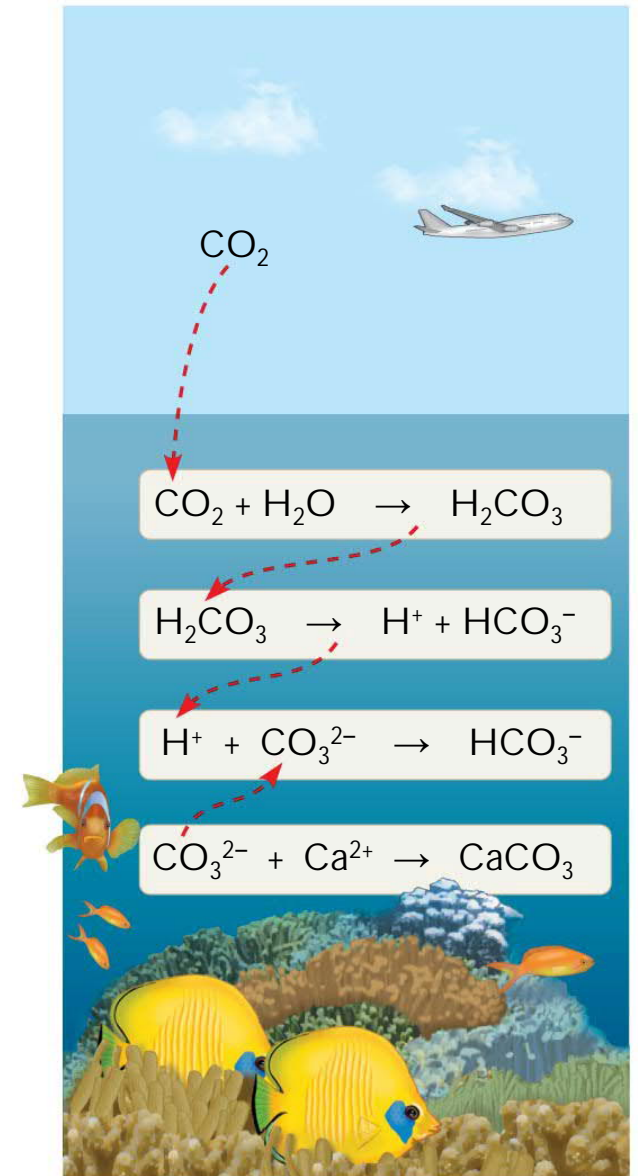
Happo/e mäs	protolyysireaktio	pKA
Fosfaatti	$\text{H}_3\text{PO}_4 \Leftrightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+$	2,1
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- \Leftrightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+$	7,2
	$\text{HPO}_4^{2-} \Leftrightarrow \text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+$	12,3
HEPES		7,5
karbonaatti	$\text{H}_2\text{CO}_3 \Leftrightarrow \text{HCO}_3^{2-} + \text{H}^+$	6,4
	$\text{HCO}_3^- \Leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$	10,3



# Happamoituminen: riski vesistöille

Fossiiliset polttoaineet aiheuttavat paitsi ilmakehässä toimivia kasvihuonekaasuja, vaikuttavat myös veden laatuun

- Hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) vapautuu ilmakehään
- Neljännes hiilidioksidista absorboidaan meriin.
- Meressä hiilidioksidi muuttuu karbonaattihapoksi, joka happamoittaa meriä.
- Vaikutusta kalsiumkarbonaatin muodostumiseen.





# Kiitos!



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

[uef.fi](http://uef.fi)

