

Saimaan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Hans-Christian Schauman

Kemialliset ilmiöt rakennustekniikassa

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Hans-Christian Schauman

Kemialliset ilmiöt rakennustekniikassa, 25 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikka Lappeenranta

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Opinnäytetyö 2012

Ohjaaja: Perttu Laivamaa, opettaja, Saimaan ammattikorkeakoulu

Työn tarkoituksena oli rajata ja esitellä rakennusalaan liittyviä kemian käsitteitä ja ilmiöitä sikäli kuin ne liittyvät betonitekniikan, teräsrakenteiden, geotekniikan ja rakennusfysiikan aiheisiin.

Työssä esiteltiin tiettyjä epäorgaanisen ja fysikaalisen kemian peruskäsitteitä ja –ilmiöitä. Nämä pyrittiin esittelemään siten, että ne nivoutuvat ymmärrettävästi tiettyihin rakennusalan ilmiöihin.

Työssä esiteltiin sementin hydrataatioprosessia ja betonin karbonatisoitumista, metallien korroosiota, kapillaari-ilmiötä, diffuusiota, hygroskooppisuutta sekä maalien sideaineiden toimintaa kemiallisina ilmiöinä.

Asiasanat: Kemia, sementin hydrataatio, karbonatisoituminen, sähkökemiallinen korroosio, kapillaari-ilmiö, polaarisuus, diffuusio, hygroskooppisuus

Abstract

Hans-Christian Schauman

Chemical phenomena in civil and construction engineering, 25 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Civil and Construction Engineering Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Bachelor's Thesis 2012

Instructor: Mr Perttu Laivamaa, Teacher

The purpose of the study was to present chemical terminology and phenomena in civil and construction engineering. The phenomena are related to concrete and steel construction, geotechnical engineering and physics.

The study contains basic terminology and phenomena of inorganic chemistry and physical chemistry, analyzed in a way to make related phenomena included in civil and construction engineering understandable.

The study deals with hydration of cement and carbonation of concrete, corrosion of metals, the capillary action, diffusion, hygrosopy and the action of binders in paints.

Keywords: Chemistry, hydration of cement, carbonation, galvanic corrosion, capillary action, polarity diffusion, hygrosopy

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Betonitekniikan kemia.....	6
2.1	Sementtiklinkkerin koostumus.....	6
2.2	Sementin hydrataatioreaktiot.....	7
2.3	Happamuus ja emäksisyys.....	8
2.4	Betonin karbonatisoituminen.....	9
3	Teräsrakenteiden kemia.....	10
3.1	Hapettuminen ja pelkistyminen.....	10
3.2	Metallien sähkökemiallinen jännitesarja.....	11
3.3	Korroosio.....	12
3.4	Korroosionesto.....	13
4	Geotekniikan ja maalinnoitteiden kemia.....	15
4.1	Alkuaineet, kovalentit sidokset ja molekyylien väliset vetovoimat.....	15
4.2	Kapillaari-ilmiö.....	17
4.3	Maalien sideaineet.....	19
5	Rakennusfysiikan kemia.....	20
5.1	Haihtuminen, kyllästymisen ja tiivistyminen.....	20
5.2	Diffuusio.....	22
5.3	Hygroskooppisuus.....	23
6	Yhteenveto.....	24
	Kuvat.....	25
	Taulukot.....	25
	Lähteet.....	25

1 Johdanto

Kemia on se osa luonnontieteitä, joka tutkii aineen rakennetta ja ominaisuuksia sekä aineiden muuttumista toisiksi aineiksi. Kemialla on yhtymäkohtia sekä fyysiikkaan että biologiaan jopa siinä määrin, että tarkka rajanveto niiden välillä ei ole mahdollista. Monien kemiallisten ilmiöiden selvittämisessä hyödynnetään sekä matemaattisia että fysikaalisia tietoja (1).

Kemia jaetaan perinteisesti seuraaviin osa-alueisiin (1):

1. Epäorgaaninen kemia: Alkuaineiden sekä niiden yhdisteiden ominaisuuksien tutkiminen.
2. Orgaaninen kemia: Hiilen vety-yhdisteiden sekä niiden johdannaisten kemia.
3. Fysikaalinen kemia: Aineiden fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien teoreettinen tarkastelu sekä fysikaalisten ominaisuuksien tutkiminen.
4. Analyttinen kemia: Aineiden koostumuksen ja rakenteen selvittäminen.
5. Biokemia: Elollisen luonnon kemia.

Ammattikorkeakoulun rakennusalan koulutuksessa erillinen kemian opetus keskittyy pinnallisesti kaikkiin kemian alan osa-alueisiin. Tältä pohjalta rakennusalaan liittyvien kemian käsitteiden ja ilmiöiden ymmärtäminen jää hataraksi.

Työssä pyritään rajaamaan ja esittelemään rakennusalaan liittyvät kemian käsitteet ja ilmiöt sikäli kuin ne liittyvät betonitekniikan, teräsrakenteiden, geotekniikan ja rakennusfysiikan aiheisiin.

Työssä ei käsitellä korjausrakentamiseen, talonrakennukseen ja rakennusfysiikkaan liittyviä biokemiallisia tai mikrobiologisia aiheita.

2 Betonitekniikan kemia

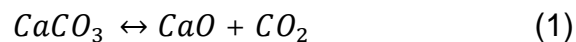
2.1 Sementtiklinkkerin koostumus

Betoni- ja muuraustekniikkaan liittyvää sementin kovettumista käsitellään tavallisimmin tarkoituksenmukaisesti fysikaalisena ilmiönä lujuuden kehittymisen ja lämmöntuoton kautta. Kovettuminen kemiallisena ilmiönä on monimutkainen prosessi, koska sementti koostuu useista veden kanssa reagoivista yhdisteistä.

Sementin koostumukseen liittyvät alkuaineiden ja yhdisteiden käsitteet ovat:

Al	Alumiini	Alkuaine
Al ₂ O ₃	Alumiinioksidi	Yhdiste
Ca	Kalsium	Alkuaine
CaCO ₃	Kalsiumkarbonaatti	Yhdiste
CaO	Kalsiumoksidi	Yhdiste
CO ₂	Hiilidioksidi	Yhdiste
CO ₃ ²⁻	Karbonaatti-ioni	Yhdiste
Fe ₂ O ₃	Rautaoksidi	Yhdiste
Si	Pii	Alkuaine
SiO ₂	Pioksidi	Yhdiste

Sementtiklinkkerin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka koostuu pääasiassa kalsiumkarbonaatista (CaCO₃) (2). Kuumentamalla kalkkikiveä noin 1 000 °C:n lämpötilassa kalsiumkarbonaatista lohkeaa hiilidioksidia (CO₂), ja jäljelle jää kalsiumoksidia (CaO). Reaktio on esitetty kaavassa 1:



Klinkkerimineraalien muodostamiseen tarvitaan myös piioksidia (SiO₂), alumiinioksidia (Al₂O₃) ja rautaoksidia (Fe₂O₃). Nämä tulevat prosessin sivukivistä ja tehtaiden muista sivutuotteista (3).

Portlandsementtiklinkkerin kemiallisella koostumuksella viitataan molekyylien määrasuhteisiin, jotka jakautuvat tyyppillisesti (2; 3):

Kalsiumoksidi	CaO	67 %
Pioksidi	SiO ₂	22 %
Alumiinioksidi	Al ₂ O ₃	5 %
Rautaoksidi	Fe ₂ O ₃	3 %
Muita		3 %

Molekyylit muodostavat kuitenkin keskenään kiderakenteisia mineraaleja, jolloin yhdistettä kuvataan erottamalla samassa kiteessä toisiinsa sitoutuneet eri molekyylit pisteellä (1). Nämä minerologiset koostumukset ilmoitetaan massasuhteina (2; 3):

Trikalsiumsilikaatti	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	55%
Dikalsiumsilikaatti	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	22%
Trikalsiumalumiinaatti	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	9 %
Tetrakalsiumalumiinaattiferriitti	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	8 %
Muita		6 %

2.2 Sementin hydrataatioreaktiot

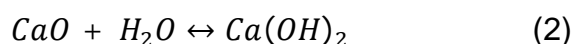
Sementti reagoi veden kanssa muodostaen kovan ja huokoisen mineraalin, joka kiinnittää runkoainerakeet ja raudoituksen sekä väripigmentit betoniin. Betonin hydrataatioprosessilla tarkoitetaan yleisesti betonin kovettumista, millä viitataan sementin reagointiin veden kanssa. Reaktio johtaa kemiallisiin ja fysikaalisiin muutoksiin sementin ja veden seoksessa (2; 3).

Sementin hydrataatio koostuu sarjasta kemiallisia reaktioita, jotka voivat tapahtua sekä samanaikaisesti että peräkkäin. Reaktiot ovat myös toisistaan riippuvaisia. Prosessin monimutkaisuuden vuoksi hydrataatiokemiaa on selvitetty pääasiassa tutkimalla sementin sisältämien yksittäisten komponenttien reaktioita. Useita toisistaan poikkeavia teorioita on esitetty hydrataation eri vaiheille, mutta yleisesti hyväksyttyä selitystä hydrataation kulusta ei ole pystytty esittämään (3).

Hydrataatioprosessiin liittyvät alkuaineiden ja yhdisteiden käsitteet ovat:

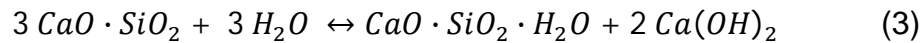
CaO	Kalsiumoksidi	Yhdiste
H ₂ O	Vesi	Yhdiste
SiO ₂	Piiksid	Yhdiste
Ca(OH) ₂	Kalsiumhydroksidi	Yhdiste

Yksinkertainen osareaktio hydrataatiossa on kalsiumoksidin ja veden reaktio, jolloin syntyy kalsiumhydroksidia (3). Reaktio on esitetty kaavassa 2:



Sen sijaan piidioksidi SiO_2 ei reagoi veden kanssa, mutta on samanaikaisesti mineraalina sitoutunut kalsiumsilikaatteihin ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$).

Tyypillisenä reaktiotuotteena syntyy kideäistä ainetta, kalsiumsilikaattihydraattia sekä kalsiumhydroksidia (3). Reaktioyhtälö on esitetty kaavassa 3:



Hydrataation monimutkaisuutta kuvaa myös se, että osa lopputuotteesta on amorfista ja osa kideäistä. Hydratoituneen sementtipastan koostumus on tilavuusosina tyypillisesti (3):

$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$	50	tilavuus-%	Amorfinen
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	12	tilavuus-%	Kiteinen
Muut	13 %	tilavuus-%	Kiteinen
Huokokset	25 %		

2.3 Happamuus ja emäksisyys

Happamuus kuvaa positiivisten vetyionien (H^+) määrää vesiliuoksessa. Liuoksen happamuus ilmoitetaan logaritmisella pH-asteikolla. Happamuus voidaan ilmoittaa niin happamalle kuin emäksisellekin liuokselle. pH-arvo on väliltä 0...14 (1).

pH-arvo määritellään kaavalla 4 (1):

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \quad (4)$$

jossa $[\text{H}^+]$ vetyioneiden konsentraatio liuoksessa (mol/l)

Kyseessä on siis logaritminen asteikko: pH:n kasvu yhdellä yksiköllä tarkoittaa sitä, että vetyionien konsentraatio pienenee kertoimella 10. Vesiliuoksen happamuus tai emäksisyys määritellään seuraavasti:

$\text{pH} < 7$	hapan, H^+ -ionien konsentraatio on suurempi kuin OH^- -ionien
$\text{pH} = 7$	neutraali, H^+ ja OH^- -ionien konsentraatio on yhtä suuri
$\text{pH} > 7$	emäksinen, OH^- -ionien konsentraatio on suurempi kuin H^+ -ionien

Tarkkaan ottaen vesiliuoksissa ei kuitenkaan esiinny vapaita vetyioneja, vaan ne sitoutuvat vesimolekyyleihin muodostaen oksoniumioneja (H_3O^+). Näistä kuitenkin vetyioni irtoaa helposti, joten kemiallisissa reaktioissa ja myös pH-laskuissa sitä voidaan käsitellä ikään kuin kyseessä olisi pelkkä vetyioni (H^+) (1).

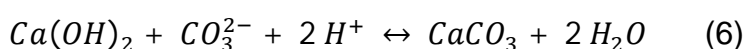
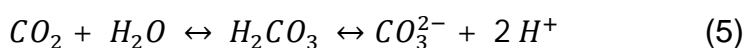
2.4 Betonin karbonatisoituminen

Betonin neutraloitumisreaktio eli karbonatisoituminen on seurausta hiilidioksidin tunkeutumisesta betoniin ja sen aiheuttamasta betonin huokosveden emäksisyyden (pH) alenemisesta. Teräskorroosio on mahdollista betonissa, jossa betonin teräkselle antama kemiallinen suoja (passiivikalvo) on hävinnyt ja rakenteessa vallitsevat otolliset happi- ja kosteusolosuhteet. Yleisesti puhutaan betonin karbonatisoitumisesta, vaikka ilmiö itsessään tapahtuu betonin ainesosan, sementin reaktioina (4).

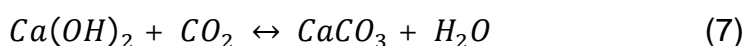
Huokosveden neutraloitumiseen ja edelleen karbonatisoitumiseen liittyviä käsitteitä ovat:

$CaCO_3$	Kalsiumkarbonaatti	Yhdiste
$Ca(OH)_2$	Kalsiumhydroksidi	Yhdiste
CO_2	Hiilidioksidi	Yhdiste
CO_3^{2-}	Karbonaatti-ioni	Yhdiste
H^+	Vetyioni	Alkuaine
H_2CO_3	Hiilihappo	Yhdiste
H_2O	Vesi	Yhdiste

Reaktioyhtälössä 5 on esitetty, kuinka hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihapolla on taipumus edelleen hajota karbonaatti-ioniksi (CO_3^{2-}) ja vetyioneiksi (H^+). Sementin kalsiumhydroksidin ($Ca(OH)_2$) reaktio näiden hajoamistuotteiden kanssa, jolloin reaktiotuotteina muodostuu kalsiumkarbonaattia ja vettä on esitetty reaktioyhtälössä 6:



Reaktio esitetään useissa lähteissä (2; 4) yksinkertaistettuna kokonaisreaktiona:



3 Teräsrakenteiden kemia

3.1 Hapettuminen ja pelkistyminen

Teräsrakenteisiin liittyvä korroosio on parhaita esimerkkejä poikkiteknisestä ja tieteiden välisestä alasta. Klassinen kemia käsittelee metallia virheettömänä, homogeenisena alkuainepintana ja kiinnittää lähes kaiken huomionsa ympäristön kemiaan. Vastaavasti metallin tutkija välttää tietoisesti kaikkea kemiaan liittyvää ja keskittyy metallin rakenteen ja mekaanisten ominaisuuksien perusteelliseen selvittelyyn (5).

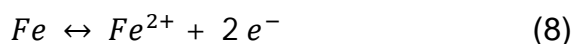
Korroosion ja korroosioneston käsitteiden tunteminen edellyttää kemian hapettumis- ja pelkistymisilmiöiden ja sähköisesti varautuneiden alkuaineiden (ionien) ja hiukkasten (elektronien) tuntemista.

Hapettumiseen ja pelkistymiseen liittyviä käsitteitä ovat

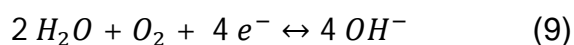
e^-	Varautunut hiukkanen	Elektroni
Fe	Rauta	Alkuaine
Fe^{2+}	Varautunut rautaioni	Ioni
H_2O	Vesi	Yhdiste
O_2	Happi	Yhdiste
OH^-	Hydroksyyli-ioni	Yhdiste

Hapettuminen on kemiallinen reaktio, jossa alkuaine luovuttaa muodollisesti elektroneja pelkistyvälle aineelle. Pelkistyessään alkuaine ottaa muodollisesti vastaan elektroneja hapettuvalta aineelta (1).

Kaavassa 8 on esitetty raudan hapettuminen ioniksi.



Hapetus tapahtuu aina samanaikaisesti jonkin toisen aineen pelkistymisen kanssa. Kaavassa 9 on esitetty pelkistymisreaktio vedessä.



3.2 Metallien sähkökemiallinen jännitesarja

Metallien sähkökemiallisella jännitesarjalla kuvataan metallien taipumusta hapettumis-pelkistymisreaktioihin toisten metallien kanssa (5; 6).

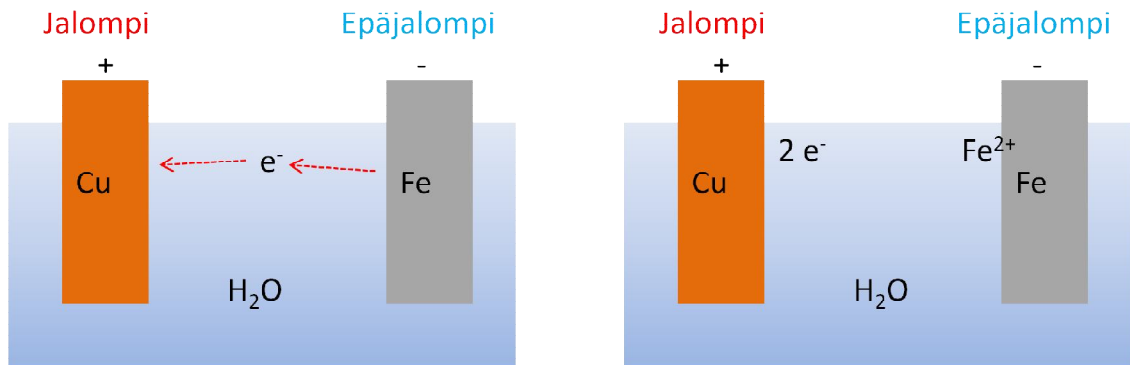
Taulukossa 1 on esitetty alkuainemetallien sähkökemiallinen jännitesarja (5). Jännitesarjassa metallit on järjestetty pienenevän hapettumiskykynsä mukaisesti, toisin sanoen Rauta (Fe) hapettuu, eli luovuttaa elektroneja, helpommin kuin kupari (Cu). Jännitesarjan avulla voidaan ennustaa, tapahtuuko tietyn metallin ja jonkin toisen metallin välinen hapettumis-pelkistymisreaktio. Atomimuodossa oleva epäjalompi metalli pelkistää ionimuodossa olevan jalomman metalli-ionin atomiksi, joten esimerkiksi natrium (Na) kykenee pelkistämään jokaisen sen jälkeen tulevan metallin ionin alkuaineatomiksi (5; 6).

	Metalli	Merkki	Elektrodireaktio
Epäjalommat	Kalium	K	$K \leftrightarrow K^+ + e^-$
	Kalsium	Ca	$Ca \leftrightarrow Ca^{2+} + 2 e^-$
	Natrium	Na	$Na \leftrightarrow Na^+ + e^-$
	Magnesium	Mg	$Mg \leftrightarrow Mg^{2+} + 2 e^-$
	Alumiini	Al	$Al \leftrightarrow Al^{3+} + 3 e^-$
	Sinkki	Zn	$Zn \leftrightarrow Zn^{2+} + 2 e^-$
	Kromi	Cr	$Cr \leftrightarrow Cr^{3+} + 3 e^-$
	Rauta	Fe	$Fe \leftrightarrow Fe^{2+} + 2 e^-$
	Kadmium	Cd	$Cd \leftrightarrow Cd^{2+} + 2 e^-$
	Koboltti	Co	$Co \leftrightarrow Co^{2+} + 2 e^-$
	Nikkeli	Ni	$Ni \leftrightarrow Ni^{2+} + 2 e^-$
	Tina	Sn	$Sn \leftrightarrow Sn^{2+} + 2 e^-$
	Lyijy	Pb	$Pb \leftrightarrow Pb^{2+} + 2 e^-$
	Kupari	Cu	$Cu \leftrightarrow Cu^{2+} + 2 e^-$
Jalommat	Elohopea	Hg	$Hg \leftrightarrow Hg^{2+} + 2 e^-$
	Hopea	Ag	$Ag \leftrightarrow Ag^+ + e^-$
	Paladium	Pd	$Pd \leftrightarrow Pd^{2+} + 2 e^-$
	Platina	Pt	$Pt \leftrightarrow Pt^{2+} + 2 e^-$
	Kulta	Au	$Au \leftrightarrow Au^{3+} + 3 e^-$

Taulukko 1 Alkuainemetallien sähkökemiallinen jännitesarja ja elektrodilla tapahtuvat hapettumisreaktiot (5)

3.3 Korroosio

Kemiassa korroosio käsitetään aina korroosioparien eli galvaanisten paikallisparien toimintana (1; 5). Käytännössä korroosiota tapahtuu sähkökemiallisina liukenemisreaktioina olosuhteissa, joissa vettä on läsnä. Tällöin korroosioparin epäjalompi metalli pyrkii hapettumaan ja jalompi osa pysyy suojattuna. Kuva 1 esittää klassista rauta-kupari-korroosioparia suolaliuoksessa (7).



Kuva 1 Kupari-rauta korroosiopari vesi-suolaliuoksessa (7)

Ilmiössä epäjalompi metalli rauta (Fe) pyrkii hapettumaan, jalomman kuparin (Cu) pysyessä suojattuna. Korroosioreaktio eli raudan (Fe) hapettuminen vedessä tapahtuu kaavan 10 mukaan. Vastaavasti pelkistymisreaktio vedessä tapahtuu kaavan 11 mukaan (5):

(10)

(11)

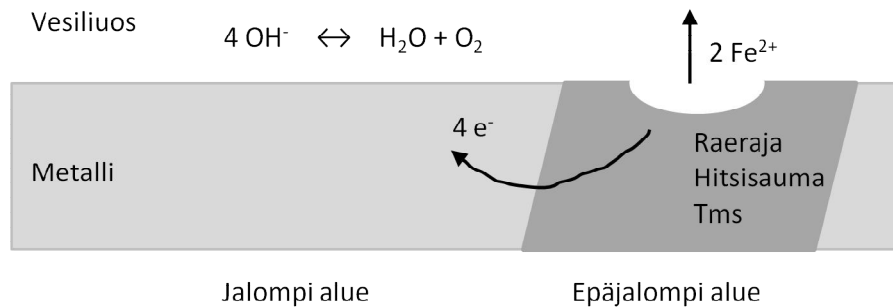
Ilmiö näkyy liuoksen alkalisuutena, eli OH-ionien lisääntymisenä, jolloin liuoksen pH-arvo nousee. Liuoksessa liennut rauta ja hydroksyyli-ioni reagoivat edelleen kaavan 12 mukaan:

(12)

Muodostunut ferrohydroksidi muodostaa liuoksessa olevan hapen kanssa ruskeaa ruostetta:

(13)

Käytännössä metalliseosten jähmettymisen, lämpökäsittelyn, hitsauksen, takomisen tai vastaavien seurauksena samassa metallissa esiintyy jalompia ja epäjalompia osia, jolloin galvaaninen paikallispari syntyy saman metallikappaleen sisään ja näin ollen veden läsnä ollessa sähkökemiallinen korrosio pääsee tapahtumaan (5; 7). Ilmiö on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2 Jalommat ja epäjalommat alueet samassa metallikappaleessa ja galvaanisen paikallisparin syntyminen (7)

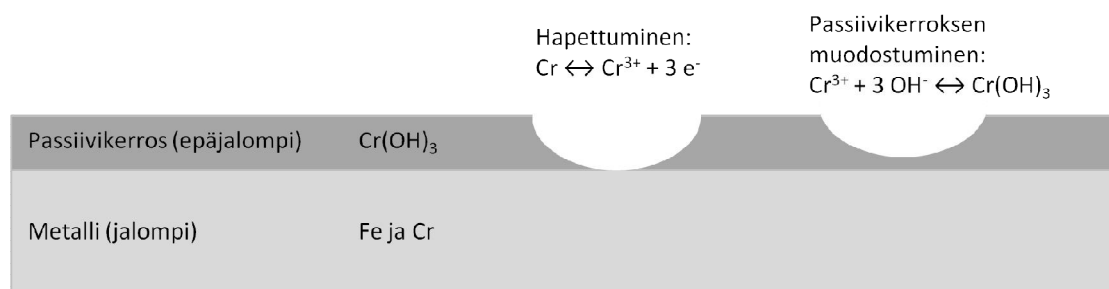
3.4 Korroosionesto

Teräsrakenteiden korroosionestoon liittyvät pinnoitus sinkillä ja passivoiminen perustuvat sähkökemiallisen ilmiön hallintaan. Sinkityksessä terässeoksen pintaan muodostetaan sinkistä epäjalompana metallina kerros, kun passivoimisessa terässeokseen lisätään epäjalompana metallina kromia. Kummassakin tapauksessa epäjalompi metalli hapettuu jalomman metallin, raudan, pysyessä suojattuna.

Jos sinkityllä teräksellä, jossa sinkki ja teräs ovat kiinteässä kosketuksessa toisiinsa, sinkkipinnoite vahingoittuu, syntyy kosteuden läsnä ollessa galvaaninen pari. Tässä parissa sinkki (Zn) on epäjalompi, joten se pyrkii hapettumaan. Teräs on jalompi, joka säästyy (5).

Vastaavasti ruostumattomassa teräksessä on suuri määrä kromia (Cr), joka rautaa (Fe) epäjalompana on muodostanut hydroksidiyhdisteen ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) teräksen pinnalle. Tämä niin sanottu passiivikerros suojaa rautaa, ja kerroksen vaurioituessa syntyy jälleen galvaaninen pari, jossa ensi sijassa kromi hapettuu muodostaen uutta hydroksidiyhdistettä (5).

Kuvassa 3 on esitetty ruostumattoman teräksen passiivikerros ja kromin hapettuminen galvaanisen parin vaikutuksesta.



Kuva 3 Ruostumattoman teräksen passiivikerros ja kromin hapettuminen

Todellisuudessa käytettävät metallit ovat eri yhdisteiden seoksia, kuten galvanoitu tai ruostumaton teräs. Taulukossa 2 on esitetty tyypillisten rakenteissa esiintyvien terässeosten sähkökemiallinen jännitesarja jalommista epäjalompiin (7).

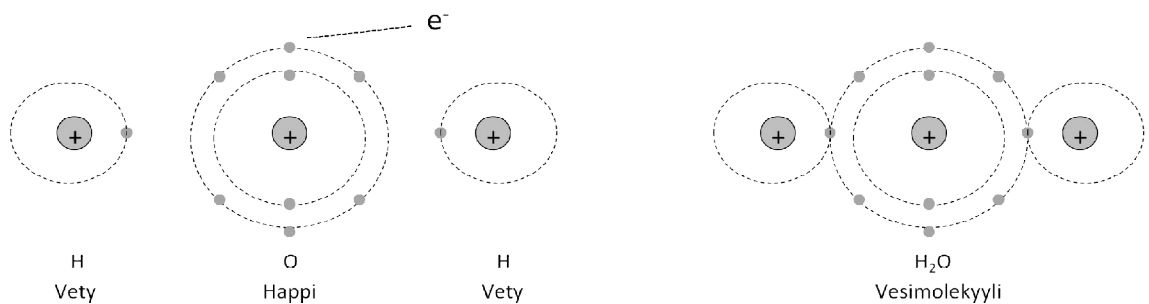
Epäjalommat	Magnesium ja sen seokset
	Sinkki
	Galvanoitu teräs
	Alumiini ja sen seokset
	Niukkahiilinen teräs
	Valurauta
	Ruostumaton teräs
	Haponkestävä teräs
	Lyijy
	Messingit
	Alumiinipronssi
	Kupari
	Punametalli
	Nikkeli
Monelmetalli	
Jalommat	Ruostumaton teräs (passivoitunut)
	Haponkestävä teräs (passivoitunut)
	Hopea
	Grafiitti

Taulukko 2 Metalliseosten sähkökemiallinen jännitesarja (7)

4 Geotekniikan ja maalipinnoitteiden kemia

4.1 Alkuaineet, kovalentit sidokset ja molekyylien väliset vetovoimat

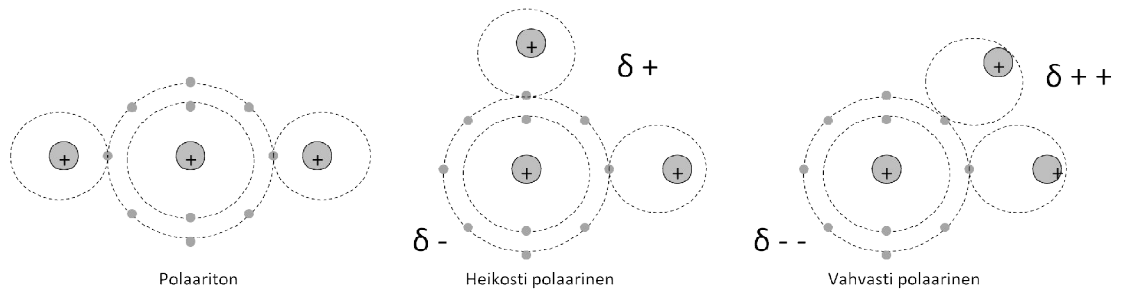
Alkuaineatomissa positiivisesti varautunutta ydintä kiertää sisäkkäisillä radoilla negatiivisesti varautuneita elektroneja. Alkuaineet yhdistyvät toisiinsa joko ionisidoksilla tai kovalenteilla sidoksilla. Kovalenteista sidoksista syntyy molekyyliä, joissa kaksi tai useampi atomi jakaa keskenään uloimman ratansa elektronit (e^-). Kuvassa 4 on esitetty atomin periaatekuva ja kovalentisti muodostunut molekyyli.



Kuva 4 Atomit ja niistä kovalentisti muodostunut molekyyli

Eri alkuaineatomien muodostaessa keskenään molekyyliä, atomeiden ytimillä on taipumus vetää toistensa elektroneja puoleensa. Jos molekyylistä koostuvilla atomeilla on erisuuruiset taipumukset tähän vetovoimaan, yhdisteen elektroni-kehä voi painottua enemmän toisen atomin suuntaan. Tällöin ulospäin neutraalissa molekyyliässä positiivisten ja negatiivisten varausten jakautuminen ei ole tasainen vaan molekyylin eri puolilla on erimerkkiset osittaisvaraukset. Tällöin molekyyliä nimitetään polaariseksi molekyyliksi (8).

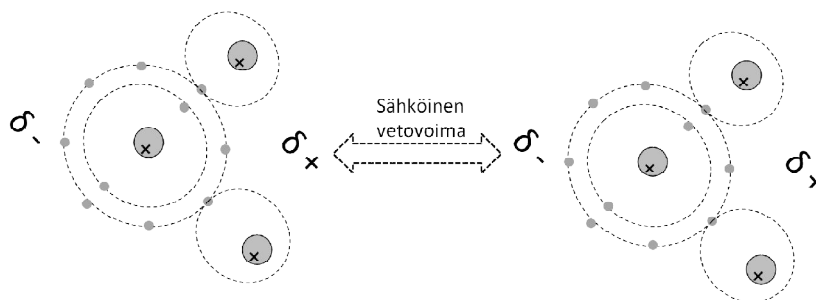
Polaarisella molekyyllillä on eri puolillaan erimerkkiset osittaisvaraukset eli dipolimomentit (δ^+ tai δ^-). Yleisesti puhutaan myös erimerkkisistä navoista. Ilmiön periaate on esitetty kuvassa 5 (8).



Kuva 5 Molekyylien polarisuus ja dipolimomentit (δ)

Kuvassa polaarittomalla molekyylillä positiivisten ja negatiivisten varausten jakautuminen on tasainen, kun taas kahdella muulla molekyylillä on heikosti tai vahvasti varautuneet navat.

Polaaristen molekyylien välille syntyy sähköinen vetovoima erimerkkisten osittaisvarausten ($\delta+$ ja $\delta-$) takia. Nämä sähköiset vetovoimat vetävät edelleen eri molekyyliä toistensa luo synnyttäen yhdisteitä. Ilmiön periaate on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6 Erimerkkisten dipolimomenttien aiheuttama sähköinen vetovoima molekyylien välille

Tyypillisiä polaarittomista molekyyleistä koostuvia yhdisteitä ovat luonnonkumi, polyeteeni ja silikonyhdisteet. Tyypillisiä heikosti polaarista molekyyleistä koostuvia yhdisteitä ovat vesi, selluloosa ja useimmat maalien ja liimojen sideaineet. Tyypillisiä vahvasti polaarista molekyyleistä koostuvia yhdisteitä ovat metallit, lasi ja kvartsi (8).

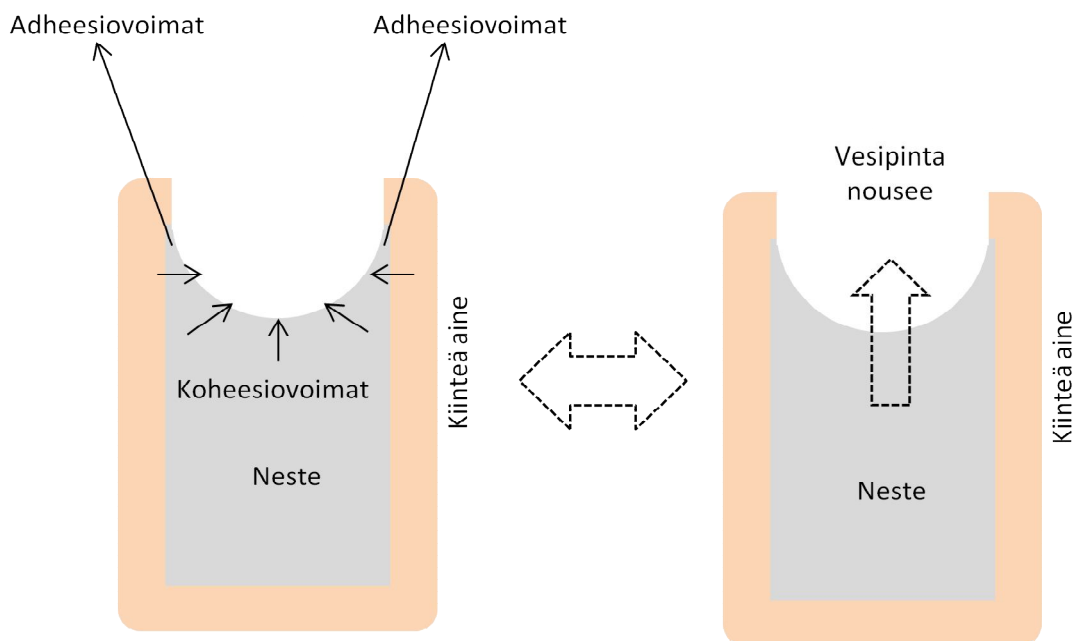
Polaarisuus, tai dipolimomentin voimakkuus, siis aiheuttaa aineen molekyylien erimerkkisten dipolien välille sähköisiä vetovoimia, näin vetäen puoleensa ja sitoen molekyyliä toisiinsa. Yksinkertaistettuna ilmiö selittää yllä mainittujen aineiden erilaiset sulamis- ja kiehumispisteet (8).

4.2 Kapillaari-ilmio

Oppikirjalähteiden mukaan geotekniikkaan ja rakennusfysiikkaan liittyvällä kapillaarisuudella tarkoitetaan rakennusaineiden ja maaperän kykyä imeä ja siirtää vettä itseensä niiden ollessa kosketuksissa veden kanssa (9; 10). Todellisuudessa kyse ei ole aineiden kyvystä imeä, vaan ilmiö on puhtaasti kemiallinen. Kapillaari-ilmiossa molekyylien väliset voimat ovat voimakkaampia nesteen ja kiinteän aineen välillä kuin pelkän nesteen sisällä.

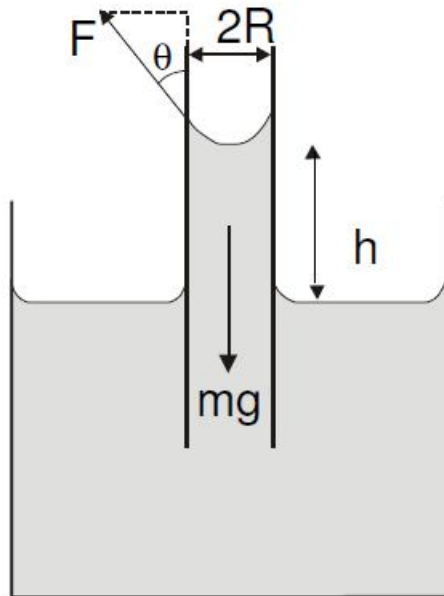
Fysiikassa kapillaari-ilmio esitetään pienessä putkessa tapahtuvana veden kohoamisena ympärillä olevan vesipinnan yläpuolelle. Kahden eri aineen, eli veden ja lasin, molekyylien välinen vetovoima nostaa veden kaarelle ylöspäin lasipintaa vasten. Veden pintajännitys puolestaan pyrkii oikaisemaan vesipinnan. Näiden voimien toimiessa vesi nousee niin ylös, että ylös vetävä voima on tasapainossa ylös nostetun vesipatsaan painon kanssa (10).

Veden ja lasin välisiä voimia kutsutaan adheesiovoimiksi ja ne johtuvat kahden eri aineen molekyylien dipolimomenttien ($\delta +$ ja $\delta -$) aiheuttamista vetovoimista. Vastaavasti veden pintajännitys johtuu koheesiosta, joka johtuu vesimolekyylien dipolimomenttien ($\delta +$ ja $\delta -$) välisistä vetovoimista (1). Ilmiö on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7 Kapillaari-ilmiossa vaikuttavat molekyylien väliset voimat

Geotekniikassa ja rakennusfysiikassa kapillaari-ilmiötä käsitellään yksinkertaistettumpana ilmiönä vesipintaa nostavan voiman ja painovoiman summana. Kuvassa 8 on esitetty kapillaari-ilmiö ja putkessa vaikuttavat voimat. Putki on lasia ja nesteenä on vesi (11).



Kuva 8 Kapillaariputkessa vaikuttavat voimat (11)

Tarkasteltaessa rakennusmateriaalien ja maa-ainesten kapillaarisia nousukorkeuksia laskennallisesti kuvitellaan huokoisen materiaalin koostuvan ohuista kapillaarilasiputkista. Huokosten säde vastaa tällöin kapillaariputken sädettä (9; 10).

Rakennusmateriaalit ja maa-ainesten huokokset käyttäytyvät samaan tapaan kuin ohuet lasiputket, joten huokoisessa aineessa vesi pyrkii nousemaan ylöspäin kapillaarivoimien takia. Nyrkkisääntönä rakennus- ja geotekniikassa pidetään, että mitä pienempiä huokokset ovat, sitä korkeampi on kapillaarinen nousu (9; 10).

Kapillaarinen nousukorkeus h voidaan laskea kaavalla 14 (11):

$$h = \frac{2T \cos \theta}{\rho g r} \quad (14)$$

jossa	T	rajapinnan pintajännitys (N/m)
	θ	kontaktikulma
	ρ	nesteen tiheys (kg/m ³)
	g	putoamiskiihtyvyyys (m/s ²)
	r	putken säde (m)

Lasiputkessa olevalle vesipatsaalle (ilmassa merenpinnan korkeudella) pätee 20 °C lämpötilassa:

T	0,0728 N/m
θ	20°
ρ	1000 kg/m ³
g	9,81 m/s ² ,

joten nestepatsaan korkeus h on:

$$h \approx \frac{1,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{r} \quad (15)$$

4.3 Maalien sideaineet

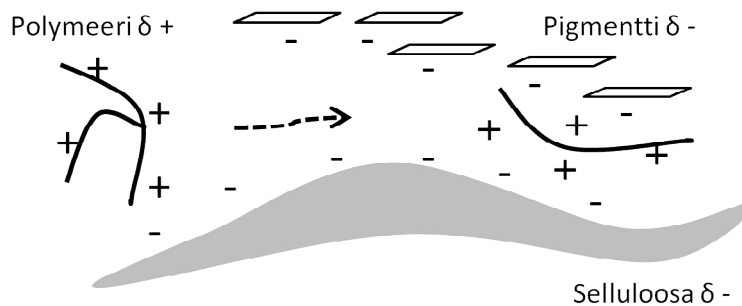
Pinnoitteiden levittämisessä materiaalin pinnalle, tunkeutumisessa materiaalin huokosiin, kiinnittymisessä sekä kovettumisessa kiinteäksi kerrokseksi esiintyy suuri joukko sekä fysikaalisia että kemiallisia ilmiöitä, jotka ovat tyypillisiä kullekin pinnoitetyypille (8).

Puun maalaus- ja liimauskäsittelyn kiinnittymisessä, eli sideaineen toiminnassa, hallitsevana on polaarinen adheesioteoriat. Myös tällöin ovat kyseessä molekyylien väliset vetovoimat.

Puun selluloosamolekyylit tekevät kuidun pinnan polaariseksi, eli selluloosakuidun pinnassa on negatiivinen dipolimomentti (δ^-). Nykyisin lähes kaikkien maalien ja lakkojen sideaineet ovat suurimolekyylisiä polymeerejä (8). Polariisaatioteorian mukaan sideaineina toimivien polymeerien pinnalla on positiivinen dipolimomentti (δ^+). Mineraali- ja maapigmenteillä, jotka sideaineen kuuluu sitoa käsiteltävään pintaan, on tyypillisesti negatiivinen dipolimomentti (δ^-).

Negatiivisten ja positiivisten dipolimomenttien vetäessä toisiaan puoleensa pitkäketjuinen polymeeri toimii silloittajana pigmenttihiukkasten ja käsiteltävän pinnan välillä. Ilmiössä on siis kyse erimerkkisten dipolimomenttien aiheuttamasta

sähköisestä vetovoimasta molekyylien välillä. Ilmiön periaate on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 Sideainepolymeerin toiminta ja pintojen dipolimomentit

5 Rakennusfysiikan kemia

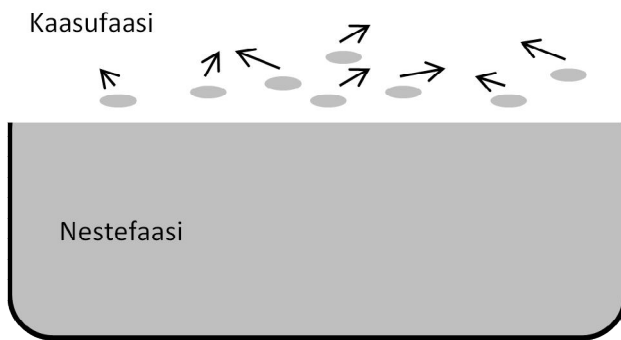
5.1 Haihtuminen, kyllästymisen ja tiivistyminen

Haihtumiseen, kyllästymiseen ja tiivistymiseen liittyviä käsitteitä ovat:

Kaasufaasi, höyryfaasi	Yhdisteen molekyylien kaasumainen olotila
Nestefaasi	Yhdisteen molekyylien nestemäinen olotila

Nesteissä molekyylien järjestys ei ole täysin säännönmukainen kuten kiinteissä aineissa eikä täysin sattumanvarainen kuten kaasuissa. Nesteet, kuten vesi, ovat lähes kokoonpuristumattomia, koska molekyylit ovat lähellä toisiaan (1).

Nesteen pinnasta siirtyy molekyyliä kaasufaasiin eli kaasuoletilaan. Kaasufaasiin siirtyvillä molekyyleillä on suurempi liike-energia kuin nestefaasissa olevilla molekyyleillä. Lämpötilan noustessa molekyylien liike-energia kasvaa ja kaasufaasiin siirtyy yhä enemmän molekyyliä. Ilmiötä kutsutaan haihtumiseksi tai höyrystymiseksi. Ilmiö on esitetty kuvassa 10 (1).

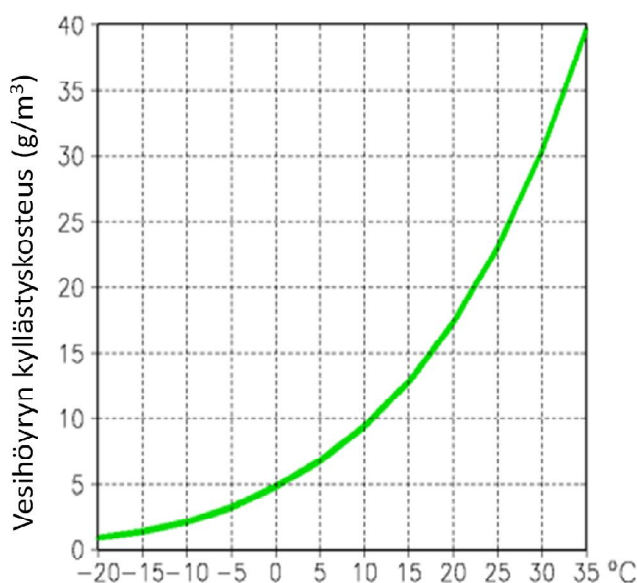


Kuva 10 Molekyylien nestefaasi ja kaasufaasi (1)

Rakennusfysiikassa käsitellään vain veteen liittyviä haihtumisen, kyllästymisen ja tiivistymisen käsitteitä. Veden kaasufaasia nimitetään yleisesti vesihöyryksi (10).

Tietyn lämpöinen ilma pystyy sisältämään enimmillään vain tietyn määrän vesihöyryä. Vesihöyryn määrä eli kosteus ilmoitetaan vesihöyryn massana ilmatilavuutta kohti eli g/m^3 . Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää vesihöyryä. Tilaa, jossa ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä, kutsutaan kyllästyskosteudeksi (10).

Kuvassa 11 on esitetty vesihöyryn kyllästyskosteuden (g/m^3) riippuvuus lämpötilasta.



Kuva 11 Vesihöyryn kyllästyskosteuden riippuvuus lämpötilasta

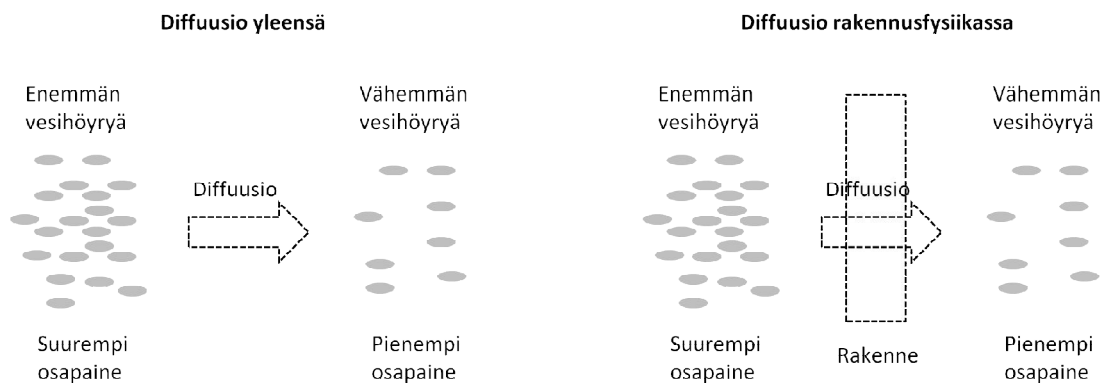
Kun vesihöyryn kyllästyskosteus ylitetään, alkaa vesihöyryn tiivistyminen nesteeksi eli kondensoituminen. Lämpötilaa ($^{\circ}\text{C}$), jossa ilmassa oleva vesihöyry kondensoituu eli tiivistyy vedeksi, kutsutaan kastepisteeksi (10). Rakenteessa vesihöyry tiivistyy aina ympäröivää ilmaa kylmemmälle kiinteälle pinnalle, jos pinnalla vesihöyryn kyllästyskosteus eli kastepiste ylittyy.

5.2 Diffuusio

Kaasujen osapainelain mukaisesti kaasufaasissa olevat molekyylit pyrkivät liikkumaan siten, että syntyy tasaisesti jakautunut kaasuseos. Ilmiötä kutsutaan diffuusioksi (1).

Yleisesti käytetty käsite ilmanpaine muodostuu kaikkien ilman yhdisteiden muodostamista osapaineista. Vesihöyryn osapaineella tarkoitetaan painetta (Pa), jonka ilman sisältämä vesihöyry aiheuttaa. Vesihöyrypitoisuuden ja lämpötilan lisäys kasvattavat vesihöyryn osapainetta (1; 10).

Diffuusiolla tarkoitetaan osapaine-eron aiheuttamaa kaasun siirtymistä suuremmasta osapaineesta pienempään (1). Rakennusfysiikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleensä kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi (10). Lähes kaikki materiaalit läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä. Ilmiö on esitetty kuvassa 12.



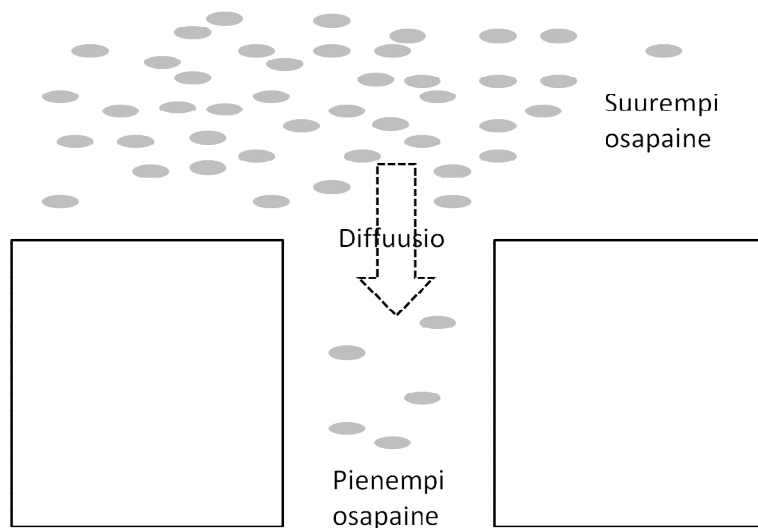
Kuva 12 Diffuusio yleisenä käsitteenä ja rakennusfysiikan käsitteenä

Kaikki ilmassa olevat kaasut käyttäytyvät samoin kuin vesihöyry. Tyypillisiä ilmassa olevia kaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), hiilimonoksidi (CO) ja happi (O_2). Jos siis rakenteen eri puolilla on eri määrä hiilidioksidia, pyrkivät hiilidioksidimo-

lekyyli tasoittamaan osapaine-eron eli diffuusion vaikutuksesta siirtymään rakenteen läpi. Myös esimerkiksi radonkaasun kulkeutuminen huoneistoihin perustuu diffuusioon (1; 10).

5.3 Hygroskooppisuus

Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa itseensä ilman vesihöyryä tai luovuttaa itseensä sitoutunutta vettä höyrynä takaisin ilmaan. Ilmiössä ilman vesihöyryä siirtyy diffuusion vaikutuksesta materiaalin huokosiin jääden sinne joko vesihöyrynä tai tiivistyen vedeksi. Vastaavasti ilmiö toimii toisin päin jos vesihöyryn osapaine materiaalin ympärillä on pienempi kuin sen huokosissa. Ilmiön periaate on esitetty kuvassa 13 (1; 10).



Kuva 13 Hygroskooppisuus huokoisessa materiaalissa

Vesihöyryn sitomista tai luovuttamista tapahtuu aina, kun materiaalin huokosten ja ympäröivän ilman välillä vallitsee vesihöyryn osapaine-ero.

Rakennusfysiikassa hygroskooppisuutta käsitellään yksinkertaistetusti materiaalin kykyä sitoa tai luovuttaa ilman vesihöyryä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa. Hygroskooppisuutta kuvataan tyypillisesti sorptiokäyrällä, jossa toisena muuttujana on materiaalin sitoma kosteus (paino-%) ja toisena ilman suhteellinen kosteus (%) (10).

6 Yhteenveto

Työssä käsiteltiin tiettyjä epäorgaanisen ja fysikaalisen kemian käsitteitä ja –ilmiöitä. Lisäksi esiteltiin rakennusalaan liittyviä ilmiöitä samojen kemian käsitteiden ja ilmiöiden pohjalta. Esitellyt ilmiöt liittyvät betonitekniikan, teräsrakenteiden, geotekniikan ja rakennusfysiikan aihepiireihin.

Työssä käsiteltyä betonin hydrataatioprosessia lähestytään rakennusalan koulutuksessa osittain fysikaalisena ja osittain kemiallisena ilmiönä. Vastaavasti työssä käsiteltyä korroosioilmiötä lähestytään metallurgiassa totutun jäsentelyn mukaisesti. Työssä käsiteltyä kapillaari-ilmiötä, diffuusiota ja hygroskooppisuutta lähestytään rakennusfysiikassa yleistäen ja vain veteen liittyvinä ilmiöinä.

Työssä pyrittiin rajaamaan kemian sisältö tarpeellisiin osiin ja tältä pohjalta esittelemaan ymmärrettävästi mainitut kemialliset ilmiöt. Työssä käsiteltiin myös maalin sideaineiden toiminta, koska se kemiallisesti perustuu samaan ilmiöön kuin kapillaarisuus.

Kuvat

Kuva 1	Kupari-rauta korroosiopari vesi-suolaliuoksessa (7), s. 12
Kuva 2	Jalommat ja epäjalommat alueet samassa metallikappaleessa ja galvaanisen paikallisparin syntyminen (7), s. 13
Kuva 3	Ruostumattoman teräksen passiivikerros ja kromin hapettuminen, s. 14
Kuva 4	Atomit ja niistä kovalentisti muodostunut molekyyli, s. 15
Kuva 5	Molekyylien polaarisuus ja dipolimomentit (8), s. 16
Kuva 6	Erimerkkisten dipolimomenttien aiheuttama sähköinen vetovoima molekyylien välille, s. 16
Kuva 7	Kapillaari-ilmiössä vaikuttavat molekyylien väliset voimat, s. 17
Kuva 8	Kapillaariputkessa vaikuttavat voimat (11), s. 18
Kuva 9	Sideainepolymeerin toiminta ja pintojen dipolimomentit, s. 20
Kuva 10	Molekyylien nestefaasi ja kaasufaasi (1), s. 21
Kuva 11	Vesihöyryn kyllästyskosteuden riippuvuus lämpötilasta, s. 21
Kuva 12	Diffuusio yleisenä käsitteenä ja rakennusfysiikan käsitteenä, s. 22
Kuva 13	Hygroσκοoppisuus huokoisessa materiaalissa, s. 23

Taulukot

Taulukko 1	Alkuainemetallien sähkökemiallinen jännitesarja ja elektrodilla tapahtuvat hapettumisreaktiot (5), s. 11
Taulukko 2	Metalliseosten sähkökemiallinen jännitesarja (7), s. 14

Lähteet

1. Laitinen, R. & Toivonen, J. 2007. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Helsinki: Hakapaino Oy
2. Betonitekniikan oppikirja. 2005. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy
3. Viirola H. & Raivio, P. 2000. Portlandsementin hydrataatio. Valtion Teknillinen tutkimuskeskus, tiedote 2041
4. Ositum, Betonilaboration tiedote: Karbonatisoituminen ja korroosio, <http://www.ositum.com/index.php?p=Karbonatisoituminen>
Luettu 17.10.2012
5. Korroosiokäsikirja. 2006. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab
6. Kunnossapito-oppimateriaali; Mekaniikka, Korroosionesto, Perusteet. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f1_korroosionesto_perusteet.html
Luettu 17.10.2012
7. Väisänen, P. 2007. Teräs - perustietoa arkkitehtipiskelijöille, TKK Arkkitehtiosasto. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy
8. Koponen, H. 1988. Puutuotteiden pinnoitus. Hämeenlinna: Karisto Oy
9. Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovellukset. Rakennustieto Oy. Helsinki: Tammer-Paino Oy
10. Björkholz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. Rakennustieto. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy
11. Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Bookwell Oy