

Nanoteknologian kokeelliset työt kemian opetuksessa

Pro gradu -tutkielma

Jarkko Huusko

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Helsingin yliopisto

23.6.2014

Ohjaajat: Maija Aksela

Mikko Ritala

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Kemian laitos	
Tekijä/Författare – Author Jarkko Huusko			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Nanoteknologian kokeelliset työt kemian opetuksessa			
Oppiaine /Läroämne – Subject Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year 23.6.2014	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 62 + 30	
Tiivistelmä/Referat – Abstract Nanoteknologia on 1-100 nanometrin kokoluokassa olevien materiaalien rakennesein liittyvää ymmärrystä ja kontrollointia, joka mahdollistaa kokoluokalle ominaisten ilmiöiden avulla uudenlaiset sovellukset. Käsite nanoteknologia kattaa nanomateriaalien tutkimukseen ja kehittämiseen keskittyvän nanotieteen sekä valmistukseen tarvittavat tekniikat ja teknologiat. Se sisältää myös nanomittakaavan kuvaamisen, mittaamisen ja mallintamisen. Nanoteknologia on nopeasti kehittyvä ala, jonka avulla valmistettujen tuotteiden määrä kasvaa jatkuvasti. Tulevaisuudessa nanoteknologiassa odotetaan kehitettävien uusien ratkaisujen elektronikan ja lääketieteen aloille sekä energian tuotantoon ja ympäristön saastumiseen liittyviin ongelmiin. Nanoteknologia on poikkitieteellinen ala, joka pitää sisällään kemian, fysiikan, biologian, lääketieteen ja elektronikan. Sitä ei ole vielä huomioitu kansallisissa opetussuunnitelmien perusteissa. Nanoteknologian opetus pitäisi integroida osaksi jo koulussa olevia oppiaineita. Suomessa opiskelijoiden kiinnostusta nanoteknologiaa kohtaan on tutkittu vähän ja suomenkielistä opetusmateriaalia on niukasti saatavilla. Tutkimusten mukaan opiskelijat ovat kiinnostuneita nanoteknologian arkielämän sovelluksista esimerkiksi pinnoitteista. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää sellaisia kokeellisia materiaaleja nanoteknologian opetukseen, jotka ovat integroitavissa kemian opetukseen. Kehitettävien opetusmateriaalin tavoitteena on parantaa luonnontieteellistä osaamista sekä tuoda esille kemian ja teknologian merkitys yhteiskunnalle ja arkielämälle. Kokeelliset oppilastyöt kehitettiin koskemaan kahta aihealuetta: hydrofobiset tekstiilit ja titaanidioksidin fotokatalyyysi. Tutkimuskirjallisuuden perusteella oppilaat pitävät kokeellisesta työskentelytavasta ja niiden avulla voi opettaa kemiaa tutkimalla erilaisia ilmiöitä ja sovelluksia. Tutkimus raportoidaan kolmessa osassa ja se jakautuu ongelma-analyysiin, kehittämisprosessiin ja kehittämistuotokseen. Tutkimuksen ensimmäinen vaihe on ongelma-analyysi, joka sisältää aikaisempiin tutkimuksiin keskittyvän teoreettisen ongelma-analyysin ja oppikirjojen sisällönanalyysin. Teoreettisessa ongelma-analyysissä tutustuttiin nanoteknologiaan ja sen opetuksen tutkimukseen. Siinä selvisi, mitä nanoteknologiasta pitäisi opettaa ja miksi aiheen opetus on hyvin vähäistä. Oppikirjojen sisällönanalyysin mukaan nanoteknologiaa käsitteleviä opetusmateriaaleja on hyvin vähän. Ongelma-analyysin avulla selvitettiin kehittämistutkimuksen tarpeet ja tavoitteet. Toinen vaihe on kehittämisprosessi, jossa kuvataan prosessin eteneminen ja tehdyt kehittämisspätökset. Tutkimuksen kolmas vaihe on kehittämistuotos, jossa kuvataan kehitetyt oppimateriaalit. Hydrofobinen tekstiili -työssä esitellään hydrofobisuuden teoriaa ja tutkitaan ilmiötä erilaisilla materiaaleilla. Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työssä tutustutaan itse ilmiöön ja tutkitaan kiderakenteen vaikutusta fotokatalyyttisen reaktion nopeuteen. Molempien töiden tavoitteena on oppia tutkittavien ilmiöiden kemiaa ja niihin liittyviä nanoteknologian opetuksen ydinajatuksia.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Kemian opetus, nanoteknologia, kokeellisuus, kehittämistutkimus, hydrofobisuus, fotokatalyyysi			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan tiedekirjasto ja Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto / E-thesis			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Maija Aksela ja Mikko Ritala			

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Kehittämistutkimus	3
2.1 Tutkimuskysymykset	6
3 Ongelma-analyysi	7
3.1 Nanoteknologia	8
3.1.1 Nanoturvallisuus	10
3.1.2 Hydrofobiset pinnat	11
3.1.3 Titaanidioksidin fotokatalyysi	18
3.2 Tarveanalyysi	22
3.3 Nanoteknologia opetuksessa	26
3.3.1 Tiede, teknologia ja yhteiskunta -opetus	34
3.3.2 Kokeellisuus nanoteknologian opetuksessa	35
3.4 Yhteenveto	39
4 Kehittämisprosessi – nanoteknologian kokeelliset työt	40
4.1 Kokeellisten töiden suunnittelu	41
4.2 Kokeellisten töiden testaaminen	42
4.3 Kokeellisten töiden julkaisu	44
5 Kehittämistuotos – nanoteknologian kokeelliset työt	45
5.1 Hydrofobinen tekstiili	45
5.2 Titaanidioksidin fotokatalyysi	49
5.3 Kokeellisten töiden jatkokehittäminen	51
5.4 Tulosten luotettavuus	52
6 Johtopäätökset ja pohdinta	53
6.1 Nanoteknologian opettaminen kouluissa	53
6.2 Hyvä nanoteknologiaa käsittelevä kemian kokeellinen työ	55
6.3 Tutkimuksen merkitys	56

Lähteet	57
Liitteet.....	63

Kuvat

Kuvat ovat tekijän itsensä tekemiä, ottamia tai vapaan lähdekoodin kuvia ellei lähdettä ole mainittu.

Liitteet

Liite 1. Tutkitut oppikirjat ja niitä vastaavat lyhenteet.

Liite 2. Tarveanalyysiin aineisto.

Liite 3. Nanoteknologian keskeisimpiin ydinajatuksiin liittyvät oppimistavoitteet.

Liite 4. Nanoteknologian yleinen esittely kokeellisiin töihin.

Liite 5. Kokeellinen työ – Hydrofobinen tekstiili.

Liite 6. Kokeellinen työ – Titaanidioksidin fotokatalyyysi.

Liite 7. Hydrofobinen tekstiili -työn oppilaan vastauslomake.

Liite 8. Hydrofobinen tekstiili -työn opettajan ohje ja vastauslomake.

Liite 9. Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn oppilaan vastauslomake (yläkoulu).

Liite 10. Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn opiskelijan vastauslomake (lukio).

Liite 11. Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn opettajan ohje ja vastauslomake.

Lyhenteet

TiO₂ = titaanidioksidi

IR = infrapunaspektroskopia (infrared spectroscopy)

UV/Vis-spectroscopy = ultravioletti-näkyvän valon spektroskopia (ultraviolet - visible spectroscopy)

STS = tiede, teknologia ja yhteiskunta (science - technology - society)

STSE = tiede, teknologia, yhteiskunta ja ympäristö (science - technology - society - environment)

SSI = (socioscientific issues)

1 Johdanto

Nanoteknologia on voimakkaasti kasvava ala, jonka avulla kehitetään jatkuvasti lisää tuotteita elinympäristöömme. Tulevaisuudessa nanoteknologiassa odotetaan kehittävän ratkaisuja energian tuotantoon, ympäristön saastumiseen, lääketieteen edistämiseen ja muihin yleisesti elämänlaatua parantaviin ratkaisuihin. (Raivio *et al.* 2010)

Nanoteknologian kehittymisen ja kasvamisen myötä tarvitaan koulutusta tuottamaan alalle uusia asiantuntijoita. Nykyisissä perus- ja lukio-opetuksen kansallisissa kemian opetussuunnitelmien perusteissa ei huomioida nanoteknologiaa. Niissä on kuitenkin sisältöjä, joihin nanoteknologiaa voitaisiin integroida. Nanoteknologia on poikkitieteellistä, joten se tulisi integroida koskemaan koko luonnontieteiden opetusta. Kemian opetussuunnitelmien perusteissa nanoteknologian integrointiin sopivia sisältöjä on sekä tarkemmissa opetussisällöissä että yleisissä tavoitteissa. Esimerkiksi yleisissä tavoitteissa mainitaan, että yläkoulussa kemian opetuksen tulisi antaa valmiuksia tehdä omia valintoja ja osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun esimerkiksi energiantuotannosta, ympäristöstä tai teollisuudesta (POPS, 2004). Myös lukion kemian opetuksen tavoitteena on tukea opiskelijan teknologiaan ja arkielämään liittyvää ymmärrystä (LOPS, 2003). (Laherto, 2012)

Tutkielman tavoitteena on kehittää kokeelliset oppilastyöt, joiden avulla on mahdollista opettaa kemiaan liittyvää nanoteknologiaa. Kokeelliset työt kehitetään yläkoulun ja lukion kemian opetukseen soveltuviksi. Niiden tarkoituksen on olla integroitavissa osaksi nykyistä kemian opetusta. Opetuskäyttöön kehitettävien materiaalien tuottamiseen soveltuva tutkimusmuoto on kehittämistutkimus. Tässä tutkielmassa kehittämistutkimus toteutetaan kolmessa osassa: tarve- ja teoreettisen osan sisältävä ongelma-analyysi, kehittämisprosessi ja kehittämistuotos (Edelson, 2002). Tutkielman alussa luvussa 2 tutustutaan kehittämistutkimukseen tutkimusmenetelmänä. Siitä edetään ongelma-analyysiin lukuun 3, joka käsittelee nanoteknologian teoriaa ja sen opetusta. Ongelma-analyysin tietojen perusteella toteutetaan kehittämisprosessi, joka kuvataan luvussa 4. Kehittämisprosessin seurauksena syntynyt kehittämistuotos kuvaillaan luvussa 5.

Nanoteknologiaa ei mainita nykyisissä opetussuunnitelmien perusteissa, joten aihealueen opetus on vähäistä. Opettajat kokevat aiheen tärkeäksi ja mahdolliseksi integroida opetukseen. Opettajilla ei kuitenkaan ole käytettävissä sopivia opetusmateriaaleja. Nanoteknologian integroiminen kouluopetukseen olisi tärkeää luonnontieteellisen

osaamisen kannalta. Kokeellinen työskentely on tehokas ja oppilaiden mielestä mukava työskentelytapa, jonka avulla voi tutkia kemian ilmiöitä ja sovelluksia (Lavonen & Meisalo, 2010a). Yhteiskunnan, teknologian ja tieteen välisten vuorovaikutusten ymmärtäminen on tärkeä luonnontieteelliseen osaamiseen kuuluva taito. Näiden yhteyksien opettamiseen nanoteknologia on vahvasti kehittyvänä ja ajankohtaisena alana hyvin soveltuva opetuskohde. (Laherto, 2012)

2 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on tutkimustapa, jossa uutta tietoa kehitetään ja tutkitaan aikaisemman kirjallisuustiedon ja tuotetun tiedon pohjalta (Edelson, 2002). Ensimmäiset opetusalan kehittämistutkimukset esittivät Brown ja Collins vuonna 1992. Tutkimusmenetelmä kehitettiin tavaksi tutkia ja uudistaa opetuksen tutkimusta. Sen avulla pyritään opetusta tuomaan lähemmäksi aitoa oppimisympäristöä ja antamaan opetukselle konteksti. (Collings, 2004)

Wang ja Hannafin (2004) määrittelevät kehittämistutkimuksen (engl. *design-based research*) systemaattiseksi ja joustavaksi metodologiaksi, jonka tavoitteena on kehittää opetusta todellisissa tilanteissa toistuvien analyysien ja mallien kautta. Tutkimus tehdään yhteistyössä tutkimuksesta ja opetuksesta vastaavien asiantuntijoiden kanssa. Sen tuloksena opetukseen tuotetaan kontekstuaalisia materiaaleja ja teorioita. Kehittämistutkimuksen tunnusomaiset viisi piirrettä ovat:

- käytännönläheisyys,
- teoriaan ja todellisiin tilanteisiin pohjautuminen,
- vuorovaikutteisuus, toistettavuus ja joustavuus,
- tutkimusmenetelmien integroitavuus ja
- kontekstuaalisuus. (Wang & Hannafin, 2004)

Kehittämistutkimus on luovuudesta riippuvainen ja monimutkainen prosessi, joten sen yksiselitteinen kuvaaminen on haastavaa. Tutkimusmenetelmässä kehittäminen ja tutkiminen yhdistyvät ja toistuvat vuorotellen tutkimuksen edetessä. Tutkimuksen aikana tehdään jatkuvasti päätöksiä, jotka määrittävät lopullisen kehittämistuotoksen. Kehittämistuotoksen aihealueen valintaan ja laajuuteen vaikuttavat rajaukset ja käytettävissä olevat resurssit. Tutkija voi ohjata tutkimusprosessia päättämällä, miten kehittäminen etenee, mitä tarpeita ja mahdollisuuksia kehittämisellä on ja millainen on haluttu kehittämistuotos. Tehtyjen päätösten perusteella tutkimusprosessi voidaan jakaa seuraaviin osiin: kehittämisprosessi, ongelma-analyysi ja kehittämistuotos. (Edelson, 2002)

1. Kehittämisprosessi

Kehittämisprosessissa päätetään kehittämisessä mukana olevat henkilöt ja menetelmät, joita tarvitaan suunnittelussa, valmistelussa, kehitystyössä, toteuttamisessa, kehittämistuotoksen testaamisessa, arvioinnissa ja jatkokehittämisessä. Näin pyritään varmistamaan tutkimukselle asetettujen tavoitteiden saavuttaminen. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

2. Ongelma-analyysi

Ongelma-analyysissä määritetään kehittämistutkimuksen tavoitteet ja mahdollisuudet sekä selvitetään haasteet ja rajoitukset. Se sisältää kuvauksen siitä, mitä kehittämistutkimuksella halutaan saavuttaa ja mitkä ovat tutkimuksen tekemiseen liittyvät rajoittavat tekijät. Ongelma-analyysi voi olla teoreettinen, empiirinen tai koostua molemmista. Teoreettisessa ongelma-analyysissä tutustutaan aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen. Empiiristä ongelma-analyysiä kutsutaan tarveanalyysiksi ja se voi olla oppikirja-analyysi, haastattelu- tai kyselytutkimus. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

3. Kehittämistuotos

Kehittämistuotos kuvaa tutkimustuotoksen. Se on kehittäjän vastaus ongelma-analyysin tavoitteisiin ja haasteisiin. Kehittämistuotos syntyy tutkimusrajoitteiden ja mahdollisuuksien mukaisesti. Se kehittyy tutkimuksen edetessä, kehittäjän tietämyksen syventyessä. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

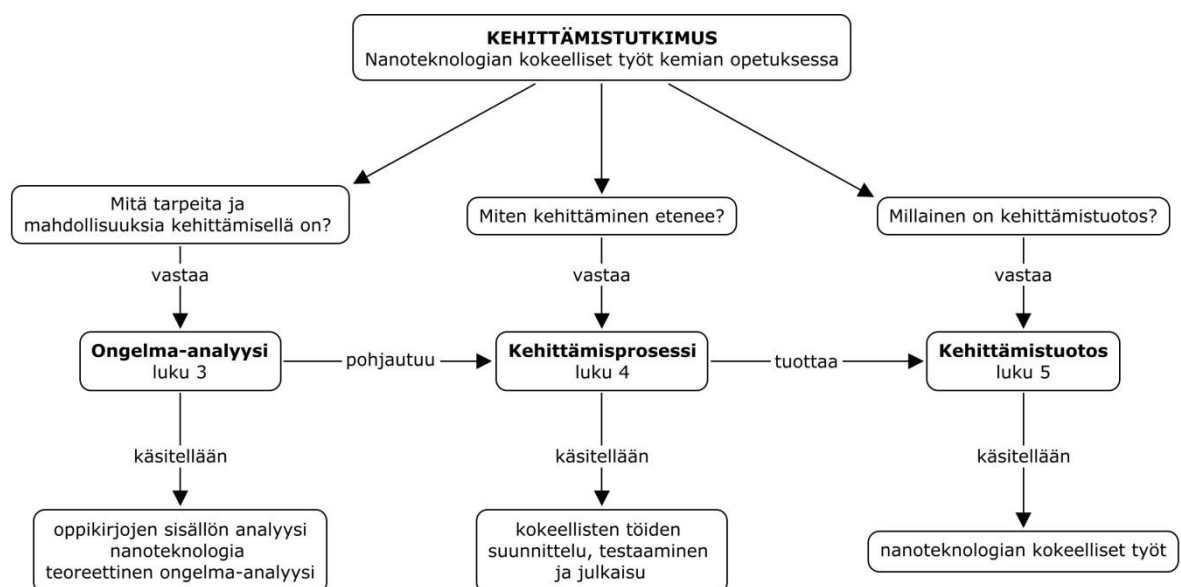
Opetuksen tutkimus voidaan jakaa kahteen tyyliisuuntaan: opetuksen tutkimiseen (*research about education*) ja suoraan opetuksen kehittämiseen kohdistuvaan tutkimukseen (*research for education*). Opetuksen tutkimus on perustutkimusta, jonka päämäärä on opetuksen ja oppimisen parempi ymmärtäminen. Kehittämistutkimus on opetukselle tutkimista ja sen on tarkoitus tuoda opetuksen tutkimukseen perustuva tieto suoraan kouluopetukseen. Juutin ja Lavosen mukaan kehittämistutkimuksen tavoite on luoda tutkimustietoa opetuksesta ja oppimisesta sekä kehittää innovaatioita. Innovaatiolla tarkoitetaan esimerkiksi oppimisympäristöä, oppimateriaalia tai opetusmenetelmää, joka edistää oppimista tai motivaatiota. Sen tulee olla sellainen, jonka opettajat voivat ottaa helposti käyttöönsä, jolloin se auttaa opettajaa toimimaan uudella tavalla. Juutin ja Lavosen selkeyttää kehittämistutkimuksen kolmella piirteellä:

- kehitysprosessi syntyy käytännön muutostarpeesta ja sopivaa ratkaisua kehitetään toistaen, kunnes tavoite on saavutettu,
- kehityksen tuotos on käyttökelpoinen ja
- se tarjoaa helposti ymmärrettävää tietoa opetuksesta. (Juuti & Lavonen, 2006)

Kehittämistutkimuksen kulku ja tehdyt päätökset perusteluineen tulee kuvata tarkasti. Näin kehittämistuotosta ja siihen liittyviä vaihteita, puutteita ja rajoituksia olisi helpompi ymmärtää ja arvioida (Edelson, 2002). Luotettavuuden kannalta tutkimusmenetelmän monimutkaisuus ja moniulotteisuus koetaan haasteelliseksi. Hyvä kehittämistutkimus sisältää viisi seuraavat viisi ominaisuutta.

1. Tavoitteena tuottaa oppimisympäristöön liittyviä teorioita tai oppimismalleja.
2. Kehittäminen etenee sykleittäin ja siinä käyttäen arviointia ja uudelleen kehittämistä.
3. Tuotetut teorit tulee olla siirrettävissä käytännön opetukseen ja opetuksen kehittämiseen.
4. Tutkimuksesta selviää tuotoksen toimivuus käytännön olosuhteissa.
5. Kehittämisprosessi dokumentoidaan tarkasti. (Design-Based Research Collective, 2003)

Yleensä Pro gradu -tutkielmat sisältävät yhden tai kaksi tutkimussykliä. Tässä tutkielmassa kehittämistutkimus tehtiin yhdessä syklissä (kuva 1).



Kuva 1. Kehittämistutkimuksen eteneminen.

Tämän tutkielman etenemisvaiheet on kuvattu seuraavasti.

1. Teoreettinen ongelma-analyysi:

Tutkimus aloitetaan tutustumalla nanoteknologian teoriaan ja opetukseen. Tarkoitus on selvittää, mitä nanoteknologialla tarkoitetaan, mitä ja miten sitä pitäisi opettaa kouluissa ja millaista tutkimustietoa nanoteknologian opetuksesta on saatavilla.

2. Empiirinen ongelma-analyysi:

Empiirinen ongelma-analyysi eli tarveanalyysi tehdään oppikirjojen sisällön-analyysinä. Sen tarkoitus on selvittää, miten nanoteknologiaa opetetaan koulussa ja millaista materiaalia on valmiiksi käytettävissä.

3. Kehittämisvaihe:

Nanoteknologian kokeellisten töiden kehittäminen tehdään ongelma-analyysissä selvinneiden tietojen pohjalta.

4. Raportointi:

Tulokset esitellään tutkielma luvussa 5.

2.1 Tutkimuskysymykset

Kehittämistutkimusta ohjaavat tutkimusongelmat, joista on muodostettu tutkimuskysymykset rajaamaan ja kohdistamaan tutkimus. Tutkimuskysymykset jaetaan kahteen osaan. Empiirinen ja teoreettinen ongelma-analyysi yhdessä vastaavat ensimmäiseen kysymykseen. Toiseen kysymykseen vastaa teoreettinen ongelma-analyysi ja kehitetyt kokeelliset työt. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1) Miten nanoteknologiaa opetetaan kouluissa?

2) Millainen on hyvä nanoteknologiaan liittyvä kokeellinen työ?

3 Ongelma-analyysi

Ongelma-analyysi koostuu kahdesta osasta, empiirisestä ongelma-analyysistä ja teoreettisesta ongelma-analyysistä. Empiirinen ongelma-analyysi toteutettiin oppikirjojen sisällönanalyysillä. Siinä selvitettiin, miten nanoteknologia on edustettuna yläkoulun ja lukion oppikirjoissa (luku 3.2). Teoreettisessa ongelma-analyysissä perehdyttiin yleisesti nanoteknologiaan (luku 3.1) ja nanoteknologian opetukseen (luku 3.3). Nanoteknologian osalta tutustuttiin tarkemmin hydrofobisuuteen (luku 3.1.2) ja fotokatalyysiin (luku 3.1.3). Nanoteknologian opetusta koskevassa osiossa tutustuttiin aihealueen opetuksen tutkimukseen (luku 3.3), opetuksen STSE (*science - technology - society - environment*) lähestymistapaan (luku 3.3.1) ja kokeellisuuteen opetusmenetelmänä (luku 3.3.2). Kokonaisuudessaan ongelma-analyysin tarkoitus on selvittää kehittämistuotoksen tarpeet ja tavoitteet.

Kehittämistutkimuksen tavoitteena on kehittää kemian opetukseen soveltuvat ja opetussuunnitelman perusteisiin integroitavat nanoteknologian kokeelliset työt. Kokeellisten töiden tavoite on olla aihealueen teorian oppimista tukeva, nanoteknologian sovelluskohteita esittävä sekä tieteen, teknologian, yhteiskunnan ja ympäristön vuorovaikutusta kuvaava kokonaisuus.

Nanoteknologia kattaa erittäin laajan joukon sovelluksia ja suuren osa-alueen tieteellistä teoriaa. Tästä syystä tutkimuksen kehittämiskohde ei voi sisältää koko aihealuetta vaan kehittämistuotokset rajataan käsittelemään sopivan yleisellä tasolla nanoteknologiaa ja tarkemmin hydrofobisuutta ja fotokatalyysiä. Kehittämistuotoksena syntyvien kokeellisten töiden tavoitteena on soveltua käytännön kemian opetukseen ilman erityisiä resursseja tai opetuksen toteuttavan henkilön erityiskoulutusta. Tutkimuksen toteuttamista rajoittavat tekijät ovat tutkimuksen kesto (6 kuukautta) ja henkilömäärä (1 henkilö). Tutkimukseen ei sisälly useampaa tutkimus sykliä tai kehittämistuotoksen toimivuuteen liittyviä tutkimusaineistoja.

3.1 Nanoteknologia

Yksinkertaisesti ilmaistuna nanoteknologia on teknologiaa nanomittakaavassa eli atomi- ja molekyyalitasolla (Ramsden, 2011). Nanoteknologialle ei ole yhtä virallista määritelmää vaan useat tahot ovat antaneet oman määritelmänsä. Yhteistä eri määritelmissä on, että nanoteknologiassa vähintään yksi rakenteen ulottuvuus on alle 100 nanometrin kokoluokassa, materiaalin ominaisuuksien kontrollointi tai manipulointi on tarkoituksenmukaista ja tuotetaan uusia innovaatioita tai sovelluksia. (OECD 2014; Ramsden, 2011)

Yhdysvalloissa kansallinen nanoteknologiaohjelma NNI (*National Nanotechnology Initiative*) määrittelee nanoteknologian tarkemmin: Nanoteknologia on 1-100 nanometrin kokoluokassa olevien materiaalien rakenneosiin liittyvää ymmärrystä ja kontrollointia, joka mahdollistaa kokoluokalle ominaisten ilmiöiden avulla uudenlaiset sovellukset. Käsite nanoteknologia kattaa nanomateriaalien tutkimukseen ja kehittämiseen keskittyvän nanotieteen sekä valmistukseen tarvittavat tekniikat ja teknologiat. Se sisältää myös nanomittakaavan kuvaamisen, mittaamisen ja mallintamisen (NNI, 2014).

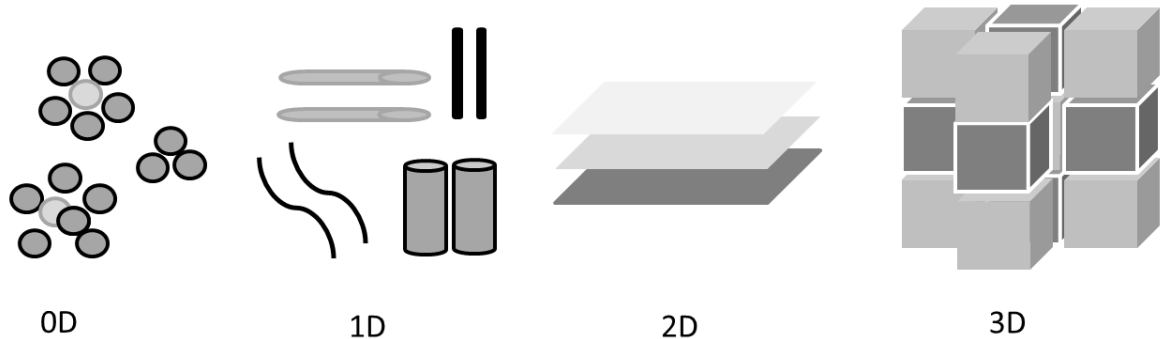
Määritelmän mukaan nanoteknologia sisältää nanomateriaaleja tutkivan nanotieteen ja niitä valmistavat tekniikat. Tässä tutkielmassa käytetään termiä nanoteknologia kuvaamaan tätä kokonaisuutta. Myös kirjallisuudessa termiä nanoteknologia käytetään usein vastaavalla tavalla.

Nanoteknologia toimii poikkitieteellisesti kemian, fysiikan, biologian, lääketieteen, tekniikan ja elektroniikan aloilla. Nanoteknologiassa tutkitaan nanomittakaavan kohteita ja ilmiöitä, ja se voidaan jakaa neljään osa-alueeseen:

1. nanomateriaalit,
2. nanometrologia (nanomittakaavan mittaaminen ja kuvaaminen),
3. nanoelektroniikka, optoelektroniikka ja informaatioteknologia sekä
4. nanobioteknologia ja nanolääketiede. (Raivio *et al.* 2010)

Nanomateriaalit voidaan jaotella koon ja muodon mukaan. Jaottelu tehdään sen mukaan, kuinka monta fyysistä ulottuvuutta on nanokokoluokassa tai suoraan avaruudellisen muodon mukaan. Ramsden jaottelee nanomateriaalit nanopartikkeleihin, putkimaisiin nanokuituihin, tasomaisiin nanokalvoihin ja kokonaisiin nanorakenteisiin (kuva 2). Nanopartikkeleissa kaikki kolme fyysistä ulottuvuutta ovat nanokokoluokassa. Vastaavasti

nanokuiduissa kaksi ja nanokalvoissa yksi ulottuvuus on nanokokoluokassa. Nanorakenteissa ei välttämättä yksikään fyysinen ulottuvuus ole nanokokoluokassa, mutta niiden sisällä on nanomittakaavan rakenteita tai huokoisuutta. Nanokuidut voi jakaa vielä erityyppisiin rakenteisiin: kiinteät nanotangot, ontot nanoputket ja sähköä johtavat nanolangat. Nanorakenteet määritellään tarkoituksella tuotetuiksi rakenteiksi, joissa yksi tai useampi rakenteen sisäinen tai pinnalla oleva elementti on nanokokoluokassa. Sellaisen voi muodostaa jatkuvista pienemmistä osista, joiden yksi tai useampi ulottuvuus on nanokokoluokassa. Aineessa olevien atomien tai molekyylien ei voi tulkita muodostavan nanorakenteita, koska muutoin kaikki materiaalit voisi laskea nanorakenteiksi. (Ozin, 2005; Ramsden, 2011)



Kuva 2. Kuvitteellisten nanomateriaalien muotoja avaruudellisten ulottuvuuksien mukaisesti: nanopartikkelit (0D), nanoputket (1D), nanokalvot (2D) ja nanorakenne (3D).

Nanoteknologian kehittämiseen on yleisesti kaksi lähestymistapaa eli ylhäältä alas (*top-down*) ja alhaalta ylös (*bottom-up*)-menetelmät. Ramsden esittelee myös kolmannen lähestymistavan (*bottom-bottom*)-menetelmän, jolla tuotetaan nanorakenteita asettamalla atomit yksittäin sopivalle paikalle materiaalia. Tällaisella menetelmällä ei ole kaupallista merkittävyyttä sen hitauden vuoksi. Ylhäältä alas-menetelmässä suurempia rakenteita muokataan nanokokoluokan tasolle. Tätä lähestymistapaa edustavat esimerkiksi litografia-, leikkaus- tai hienonnustekniikat. Alhaalta ylös-menetelmässä muodostetaan uusia rakenteita ja materiaaleja esimerkiksi nanopartikkeleiden synteesien, sooli-geeli-, neste- tai kaasufaasimenetelmien kautta. Nanokemiassa erilaisia nanomateriaaleja valmistetaan esimerkiksi litografisesti tai kemiallisesti ohjatulla kasvatusmenetelmällä ja käyttämällä spontaania tai valmista kasvualustaa hyödyntävää itsejärjestyvyyttä (Ozin, 2005). (Lämsä & Juvonen, 2011; Ramsden, 2011)

Nanoteknologia on maailmanlaajuinen ”megatrendi”, jonka kehittämiseen käytetään huomattavia panostuksia. Jo nyt nanoteknologia kuuluu osaksi yhteiskuntaa ja ihmisten arkea erilaisten tuotteiden kautta. Tulevaisuudessa nanoteknologian avulla odotetaan kehitettävän pienempiä ja tehokkaampia elektroniikanlaitteita, aivan uudenlaisia materiaaleja, uusia ratkaisuja energiantuotantoon sekä parempia keinoja lääketieteen diagnosointiin ja kohdennettuun lääkitykseen. (Raivio *et al.* 2010)

3.1.1 Nanoturvallisuus

Nanoteknologiassa kehitetään jatkuvasti uusia materiaaleja ja kuluttajatuotteita, jotka ovat monella tapaa hyödyllisiä. Uusien materiaalien valmistuksessa on kuitenkin aina etujen lisäksi omat riskinsä. Näin on myös nanomateriaalien kohdalla, koska pienikokoiset nanopartikkelit käyttäytyvät eri tavalla kuin suuremmat hiukkaset. Nanomateriaalien haitallisuuteen vaikuttaa kokoluokan lisäksi tietenkin itse materiaali ja sen rakenne. Nanoteknologiassa on kehitetty useita hyödyllisiä sovelluksia aina ympäristömyrkkujen hajottamisesta parempiin palonsuoja-aineisiin. Riskit puolestaan liittyvät siihen, ettei kaikkien kehitettyjen materiaalien terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia tunneta. (Asmatulu *et al.* 2006; Vishwakarma *et al.* 2010)

Nanoturvallisuuden kannalta on tärkeää kehittää toimintamalleja teollisesti valmistettujen nanohiukkasten tutkintaan. Niiden avulla selvitetään terveysvaikutuksia ja altistumlähteitä. Nykyisin ei ole tarpeeksi kokonaisvaltaista ja tarkkaa tietoa nanomateriaalien vaikutuksista terveyteen ja ympäristöön. Nanoturvallisuudessa on tarkoitus huolehtia turvallisesta ja kestävästä nanoteknologian kehityksestä. Tärkeä riskiarvioinnin kohde on selvittää terveyden kannalta kohtuulliset altistumisrajat eri nanomateriaaleille. (Savolainen *et al.* 2013)

Nanomateriaalien altistumlähteitä ovat tuotanto, käsittely ja käyttö, käyttöympäristössä tapahtuva altistus ja tuotteen elinkaaren loppuun liittyvä toiminta. Materiaalien tuotantoon liittyvä altistuminen voi tapahtua ilmaan tai veteen päässeiden nanohiukkasten kautta. Käsittelyyn ja käyttöön kuuluva altistuminen sisältää tuotteiden käytön lisäksi myös tuotantoon liittyviä tilanteita, kuten valmiiden nanojauheiden ja nanomateriaalien käsittelyn. Käyttöympäristössä tapahtuva altistus liittyy materiaalien hajoamiseen, pesuun tai haurastumiseen. Tuotteen elinkaaren päättyessä altistuminen liittyy kierrätykseen tai uusiokäyttöön, jätteiden käsittelyyn ja hävittämiseen. (Savolainen *et al.* 2013)

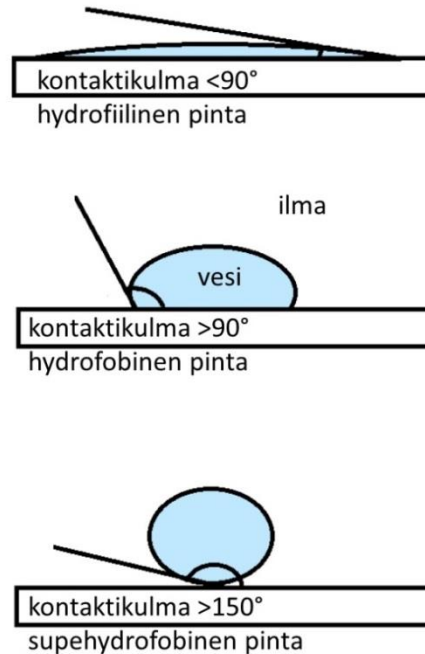
Nanomateriaalit voivat päästä kehoon hengityksen, ihokosketuksen, ravinnon tai injektoiden kautta. Yksilöiden kohdalla nanohiukkasille altistuminen luokitellaan neljään kategoriaan: työpaikkaperäiseen, kuluttajatuotteista, ympäristöstä ja materiaalien kulkeutumisesta ja muuttumisesta aiheutuviksi. Työpaikkaperäinen altistuminen aiheuttaa selkeästi suurimman terveyteen kohdistuvan riskin. Kuluttajatuotteisiin liittyvä altistumisen määrä vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon yksilö käyttää esimerkiksi nanohiukkasia sisältäviä kosmetiikka-, puhdistus- tai pinnoitustuotteita. Ympäristöön liittyvä altistuminen on hyvin laaja-alainen käsite, josta tiedetään toistaiseksi hyvin vähän, joten se on yksi tulevaisuuden tutkimusalue. Nanomateriaaleissa voi myös tapahtua muutoksia ympäristötekijöiden vaihtuessa, jolloin itse aineen rakenne voi muuttua tai materiaali voi esimerkiksi liueta veteen aiheuttaen erilaisen altistumlähteen. (Savolainen *et al.* 2013)

Nanomateriaalien terveystutkimuksissa on huomattu useiden materiaalien olevan suurina annoksina terveydelle haitallisia. Esimerkiksi pitkät ja jäykät hiilinanoputket aiheuttavat asbestinkaltaisia vaikutuksia hiirille tehtyjen kokeiden perusteella (Sund, 2014). Tällaisten hiilinanoputkien on osoitettu aiheuttavan solukuolemia makrofageissa eli elimistön syöjäsoluissa. Nanokokoisen titaanidioksidin (TiO_2) osalta on kahdenlaisia tutkimuksia. Toiset esittävät nanokokoisten TiO_2 -partikkelien aiheuttavan vahinkoa DNA:lle ja toiset esittävät, etteivät ne ole terveydelle vaarallisia. Nanokokoluokan TiO_2 -partikkeleille altistuminen ei tapahdu ihon läpi, vaan ravinnon tai hengityksen kautta. Sund on tutkimuksissaan vertaillut silikalla päällystettyjä ja päällystämättömiä TiO_2 -nanopartikkeleita ja todennut silikalla päällystämisen aiheuttavan voimakkaamman muutoksen soluliman proteomiin eli geenien tuottamiin proteiineihin ja valkuaisaineisiin (Sund, 2014). TiO_2 :n ja hopean nanopartikkeleiden haitallisten vaikutusten esitetään johtuvan reaktiivisista happispesieksistä, jotka voivat aiheuttaa tulehdusreaktioita elimistössä. Verrattaessa antimikrobisia titaanidioksidin ja hopean nanopartikkeleita keskenään hopean on havaittu olevan sytotoksisempi ja sytostaattisempi (Asare *et al.* 2011). (Shi *et al.* 2013)

3.1.2 Hydrofobiset pinnat

Useimmat materiaalit, kuten lasi, puu, muovi, metalli tai erilaiset tekstiilit voidaan muokata hydrofobisiksi ja likaa hylkiviksi pinnoittamalla. Nesteiden käyttäytymistä erilaisilla pinnoilla kuvataan yleensä nesteen ja pinnan välisellä kontaktikulmalla. Veden kontaktikulman ollessa pienempi kuin 90° kutsutaan pintaa hydrofiiliseksi eli

vesihakaiseksi. Kontaktikulman ollessa suurempi kuin 90° kutsutaan pintaa hydrofobiseksi eli vettähylkiväksi. Superhydrofiilisen pinnan kontaktikulma on 0° ja superhydrofobisen pinnan yli 150° (kuva 3). (Celia *et al.* 2013; Huusko, 2014)



Kuva 3. Veden ja pinnan välinen kontaktikulma.

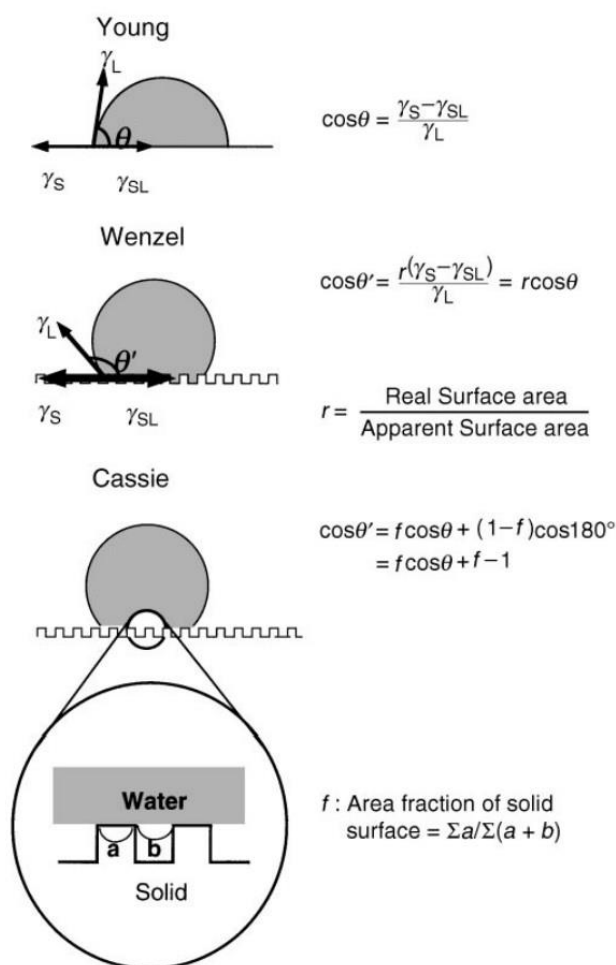
Vedenhylkimisominaisuudet kuvaavat, kuinka nesteet kastelevat pinnat ja poistuvat pinnoilta. Nämä ominaisuudet vaikuttavat suuresti pintojen likaantumiseen. Likaa hylkiviä materiaaleja kutsutaan yleisesti itsepuhdistuviksi tai superhydrofobisiksi materiaaleiksi. Luonto on kehittänyt itsepuhdistusominaisuuden useisiin kasveihin. Yleisin esimerkki on lootuskukan lehdet, jotka pysyvät puhtaina kidemäisen mikro- ja nanorakenteisen vahapintansa ansiosta. Lian on havaittu poistuvan helposti lootuksen lehdiltä sadeveden mukana. Käytännössä likapartikkelit kiinnittyvät pallomaisiin vesipisaroihin, jotka vievät ne pois pyöriessään mukanaan puhdistuen samalla lehden. Itsepuhdistuvuusominaisuuden mahdollistaminen vaatii karheen pinnan ja matalan pintaenergian materiaalin. Ilmiötä kutsutaankin lootusefektiä ja samaa ilmiötä tarkoitetaan, kun puhutaan itsepuhdistuvista superhydrofobisista materiaaleista. (Celia *et al.* 2013; Huusko, 2014)

Superhydrofobinen itsepuhdistuvuus tarkoittaa suurta staattista kontaktikulmaa (yli 150°) ja matalaa kontaktikulman hystereesiä. Hystereesi kuvaa pinnoitteella liukuvan vesipisaran kehittyvän ja vetäytyvän kulman välistä eroa alustaan nähden. Hystereesi vaikuttaa siihen, kuinka helposti nestepisara lähtee pyörimään pinnalla ja sitä mitataan esimerkiksi

kallistuskulman avulla. Kallistuskulmalla tarkoitetaan alustan ja vaakatason välistä kulmaa, jolla pisara lähtee liikkumaan pinnalla. Superhydrofobisten itsepuhdistuvien pintojen kallistuskulma pitää olla alle 10° . (Celia *et al.* 2013; Huusko, 2014)

Nykyään tutkijat pyrkivät matkimaan lootuksen lehtien rakennetta kehittäessään entistä parempia superhydrofobisia pintoja. Niitä voi kehittää käyttämällä useita erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Paljon käytettyjä matalan pintaenergian materiaaleja ovat fluorinoidut polymeeri- ja silikoniyhdisteet. Superhydrofobisia materiaaleja voi valmistaa kahdella eri lähestymistavalla: valmistamalla karhea pinta matalan pintaenergian materiaalille tai pinnoittamalla valmiiksi karhea pinta matalan pintaenergian materiaalilla. (Ganesh *et al.* 2011; Huusko, 2014)

Veden käyttäytymistä ja kastumista erilaisilla pinnoilla kuvataan yleensä kolmella eri mallilla: tasaisella pinnalla oleva pisara kuvataan Youngin mallilla ja epätasaisella pinnalla oleva pisara joko Wenzelin- tai Cassie-Baxterin mallilla. Kaikkia näitä tilanteita varten on myös kehitetty yhtälöt, joiden avulla pinnan vettymisominaisuuksia pystyy tulkitsemaan tarkemmin (kuva 4). (Celia *et al.* 2013)



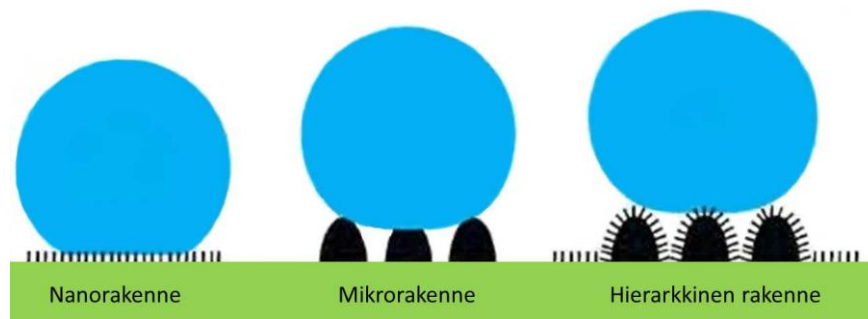
Kuva 4. Pinnan erilaiset kastumisominaisuudet ja niitä vastaavat yhtälöt eri malleilla (Nakajima *et al.* 2001). Kuva on julkaistu tekijänoikeuksien haltijan luvalla. Copyright © 2001 Springer.

Youngin yhtälössä veden kontaktikulmalle θ olevista termeistä γ_L kuvaa veden ja kaasun, γ_{SL} kiinteän aineen ja nesteen ja γ_S kiinteän aineen ja kaasun välistä pintaenergiaa. Wenzelin yhtälössä kontaktikulma θ' saadaan kertomalla Youngin yhtälö karheustekijällä r , joka on todellinen pinta-ala jaettuna kohtisuoraan ylhäältäpäin nähdyllä tasomaisella pinta-alalla. Wenzelin yhtälöstä nähdään, että pinnan karheus pienentää veden kontaktikulmaa hydrofiilisillä pinnoilla ja kasvattaa kontaktikulmaa hydrofobisilla pinnoilla. Cassie-Baxterin mallissa huomioidaan vielä vesipisaran kontakti vain kiinteän pinnan huippuihin ja yhtälöön otetaan mukaan pinta-ala tekijä f , jonka muodostuminen on esitetty kuvassa 4. (Celia *et al.* 2013)

Wenzelin tilassa vesipisara on karhealla pinnalla, mutta se koskettaa koko pinta-ala. Näin nesteen ja kiinteän aineen välinen pinta-ala kasvaa ja nestepisara ei liiku helposti pinnalla. Cassie-Baxterin tilassa vesipisara pysähtyy karhealle pinnalle koskettaen vain pinnan

huippuja. Näin nesteen ja pinnan väliin jää ilmataskuja, joten neste koskettaa alapuoleltaan sekä ilmaa että kiinteää ainetta. Tällaisella pinnalla nestepisarat liikkuvat tai pyörivät helposti ja kontaktikulman hystereesi on hyvin vähäinen. (Celia *et al.* 2013)

Superhydrofobisten pintojen nesteidenhylkimisominaisuuksien tiedetään parantuvan pinnan karheuden kasvaessa (kuva 5). Sekä mikro- että nanotason karheus lisäävät hydrofobisuutta, mutta yhdistämällä molemmat saadaan hierarkkinen pinta, joka on kaikkein hydrofobisin. Superhydrofobisia pintoja kehitettäessä pyritään valmistamaan hierarkkisen karheuden pinta, joka toimii Cassie-Baxterin tilan mukaisesti. Näin valmistetulla materiaalilla olisi parhaat lianhylkimisominaisuudet. (Celia *et al.* 2013)



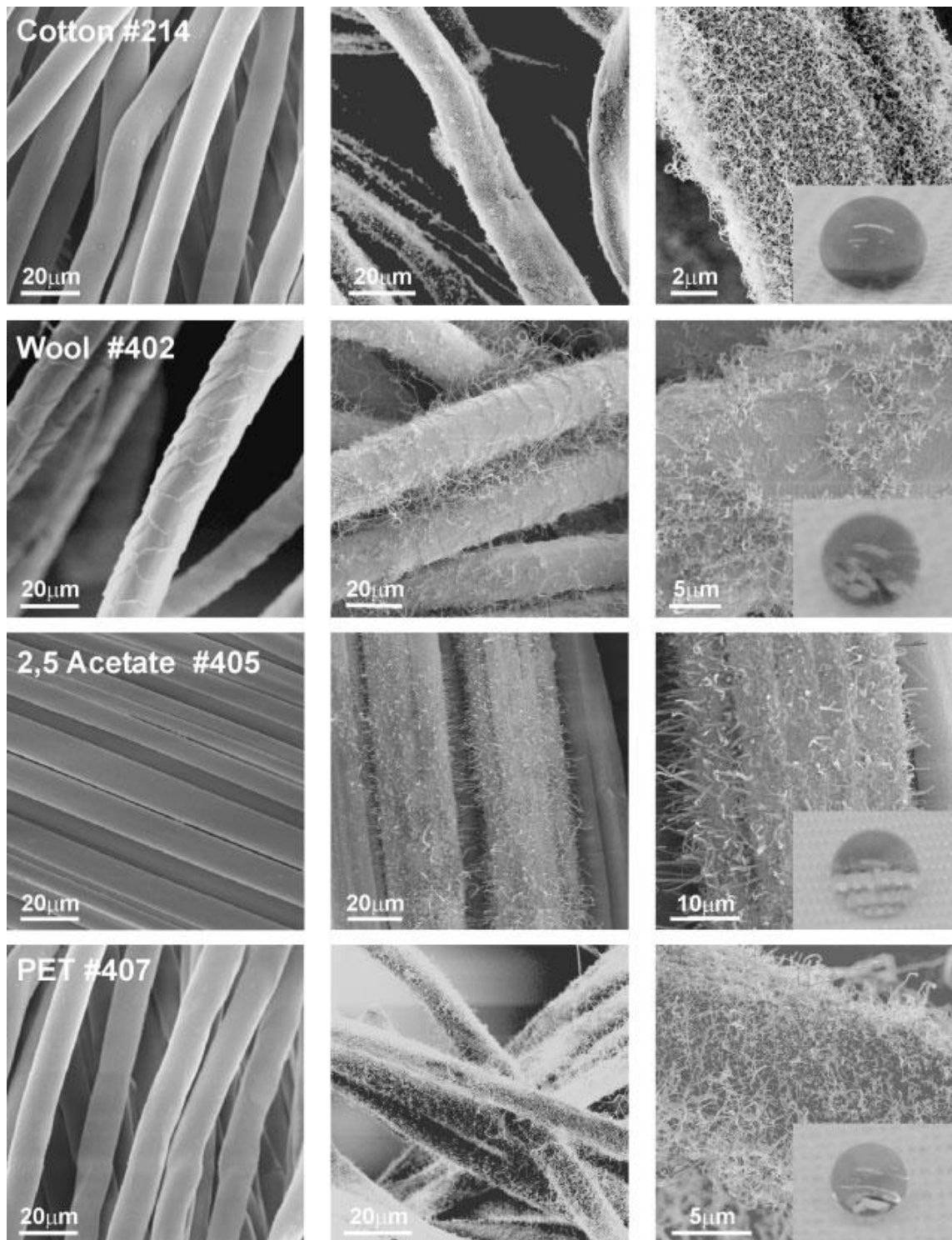
Kuva 5. Nestepisara eri karheustason pinnoilla.

Tekstiilit ovat yksi hydrofobisten pinnoitteiden monista käyttökohteista. Nanoteknologian avulla erilaisia tekstiililaatuja voi muokata UV-valon kestäviksi, kutistumattomiksi, palamista ehkäiseviksi ja rasvaa-, likaa- tai vettähylläviksi. Nanokokoluokan muutokset tekstiilikuiduissa eivät vaikuta kaikkiin tekstiilin ominaisuuksiin, joten ne tuntuvat edelleen samoilta ja säilyttävät hengittävyysominaisuutensa. Tekstiiliteollisuus on suurin kuluttajatuotteiden valmistaja, joten esimerkiksi itsepuhdistuville tekstiileille on valmiiksi odottamassa paljon käyttökohteita. (Sawhney *et al.* 2008)

Tekstiileistä pyritään tekemään superhydrofobisia tuottamalla nanokokoluokan säikeitä tai partikkeleita tekstiilikuitujen ympärille. Yleisimmin superhydrofobisia tekstiilejä valmistetaan sooli-geeli-menetelmään pohjautuvilla käsittelyillä, mutta myös monia muita menetelmiä on kehitetty. Paljon käytettyjä yhdisteistä ovat erilaiset polysiloksaani- ja silikayhdisteet. Zimmermann *et al.* ovat valmistaneet eri materiaaleista superhydrofobisia tekstiilejä käyttämällä yksinkertaista kaasufaasipinnoitusmenetelmää tuottamaan silikonyhdisteistä koostuvia nanosäikeitä tekstiilikuituihin (kuva 6). Heidän käyttämänsä menetelmän esitetään olevan halpa ja kestävä, koska sen avulla nanosäikeet kiinnittyvät

kemiallisesti tekstiilikuituihin, eivätkä vain adsorboidu kuitujen pinnalle monen sooli-geeli-menetelmällä tuotetun nanopartikkelipinnoitteen tavoin (Zimmermann *et al.* 2008). UV-valolta suojaavia ja superhydrofobisia tekstiilejä on valmistettu myös silikalla päällystettyjen sinkkioksidinanopartikkeleiden tai -tankojen ja pelkästään silaaniyhdisteiden avulla (Wang *et al.* 2011; Chao-Hua *et al.* 2011). (Yao *et al.* 2011)

Zimmermann *et al.* huomauttivat, ettei perinteinen kallistuskulmamittaus ole hyvä ja luotettava menetelmä tekstiilien kohdalla, koska ne ovat myös makrotasolla epätasaisia. Niinpä tekstiileiden kallistuskulmamittaukseen voikin käyttää valumiskulmamenetelmää (engl. *water shedding angle*). Siinä etsitään pienin mahdollinen vaakatason ja pinnan välinen kulma, jossa määrätyltä korkeudelta tiputettu nestepisara pyörii pois tekstiililtä. Eri materiaaleista polyesteripohjaisen tekstiilin käsittely tuotti kaikkein hydrofobisimman tekstiilin. (Zimmermann *et al.* 2008)



Kuva 6. Kaasufaasimenetelmällä valmistettujen tekstiilikuitujen pyyhkäisyelektroni-mikroskooppikuvia: vasemmalla päällystämättömät, oikealla ja keskellä silikonyhdisteiden nanosäikeillä pinnoitetut kuidut. Oikeanpuoleisissa kuvissa on lisäkuvat vesipisaroista pinnoitetuilla tekstiilipinnoilla. Kuva on julkaistu tekijänoikeuksien haltijan luvalla. Copyright © 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. (Zimmermann *et al.* 2008)

3.1.3 Titaanidioksidin fotokatalyyysi

Ympäristön saastuminen ja energiapula ovat globaalisti tärkeitä asioita, joihin tarvitaan tulevaisuudessa uusia ja tehokkaampia ratkaisuja. Puolijohdeiden avulla toteutettu fotokatalyyysi on yksi lupaavimmista ratkaisuista ympäristöystävälliseen energiantuotantoon ja saasteettomampaan ympäristöön liittyvissä teknologioissa. Fotokatalyyysin potentiaali johtuu mahdollisuudesta hyödyntää auringonvalon tai keinotekoisien valon energiaa. Tärkeimmät fotokatalyyysin soveltamiskohteet ovat: vedyn tuottaminen polttoaineeksi vettä hajottamalla, haitallisten yhdisteiden hajotus, keinotekoinen fotosynteesi, itsepuhdistuvat pinnat, fotoindusoitu superhydrofiilisyyden ja fotokatalyyttinen energian tuotanto. (Tong *et al.* 2012)

Fotokatalyytteinä toimivia puolijohteita tunnetaan suuri määrä, esimerkiksi sinkkioksidi (ZnO), piikarbidi (SiC), volframitrioksidi (WO_3), strontiumtitanaatti (SrTiO_3) ja kadmiumsulfidi (CdS). Tässä tutkielmassa keskitytään hyvin tunnettuun ja paljon käytettyyn fotokatalyyttiin, joka on titaanidioksidi (TiO_2), ja sen avulla tapahtuvaan fotokatalyyttiseen hajotukseen. (Tong *et al.* 2012)

TiO_2 esiintyy luonnossa kolmena eri kidemuotona, jotka ovat anataasi, rutiili ja brookiitti. Brookiitti on vaikeasti valmistettava ja harvinainen muoto, joten anataasi ja rutiili ovat käytetyimmät kidemuodot (Pore, 2010). Anataasi on stabiilein kidemuoto alle 11 nanometrin, rutiili yli 35 nanometrin ja brookiitti 11-35 nanometrin kokoluokassa. Anataasin ja rutiilin perusrakenneosa on vääristynyt TiO_6 -oktaedri. (Fujishima *et al.* 2008)

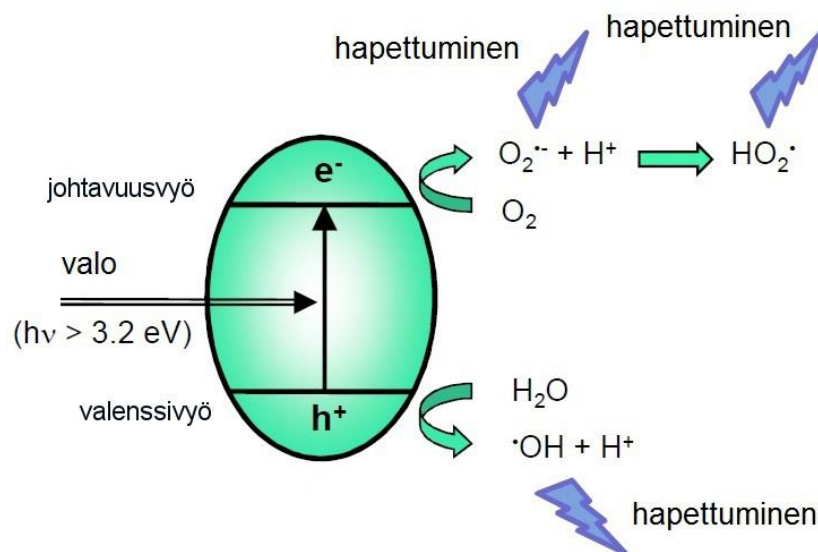
TiO_2 :n hyviä ominaisuuksia ovat kemiallinen ja mekaaninen stabiilius, myrkyttömyys, bioyhteensopivuus sekä hyvät optiset ja elektroniset ominaisuudet. Sitä käytetään paljon valkoisena väriaineena esimerkiksi maaleissa, papereissa, ruuassa (E-koodi 171), lääkeaineissa ja hammastahnoissa. TiO_2 :n fotokatalyyttiset ominaisuudet eivät muutu erityisen merkittävästi nanokokoluokkaan siirryttäessä. Kuitenkin tavallisesti valkoisena väriaineena tunnettu yhdiste on nanokokoluokassa läpinäkyvää, joten sitä voidaan käyttää esimerkiksi UV-suojana aurinkovoiteissa tai ohutkalvoina itsepuhdistuvissa ikkunoissa (Popov *et al.* 2005). (Pore, 2010)

TiO_2 on n-tyypin puolijohde eli sen ylimmän miehitetyn valenssivyön ja alimman miehittämättömän valenssivyön välillä on elektroneilta kielletty alue, jota kutsutaan energia-aukoksi. Anataasin energia-aukon koko on 3,2 eV ja rutiilin 3,0 eV. Anataasin energia-aukko vastaa valoa noin 390 nm ja rutiilin noin 410 nm aallonpituusalueella.

Molempien kidemuotojen energia-aukot vastaavat siis säteilyä UV-valon aallonpituusalueelta, joten ne pystyvät hyödyntämään vain erittäin pienen osan auringon säteilyenergiasta. (Fujishima *et al.* 2008; Pore, 2010)

Fotokatalyytti on materiaali, jonka pinnalla tapahtuu valon vaikutuksesta kemiallisia hapettumis- ja pelkistymisreaktioita. Fotokatalyyssissä ilmiön kokonaisreaktion Gibbsin vapaaenergian muutos ΔG° on aina negatiivinen. Positiivisen ΔG° reaktion fotokatalyyssiä kutsutaan fotosynteesiksi. Fotokatalyyysin toimintaperiaatteen (kuva 7) voi jakaa kolmeen vaiheeseen. Yksinkertaistettuna vaiheet ovat seuraavanlaiset:

1. Säteilytetty fotokatalyytti absorboi fotonin, joka aiheuttaa elektroni-aukko-parin syntymisen.
2. Osa elektroni-aukko-pareista yhdistyy vapauttaen lämpöä. Toinen osa elektroneista ja aukoista erottuu toisistaan ja siirtyy fotokatalyytin pinnalle.
3. Fotokatalyytin pinnalla tapahtuu hapetus-pelkistysreaktioita. (Huusko, 2014; Tong *et al.* 2012)



Kuva 7. Fotokatalyyysin toimintaperiaate. (Pore, 2010)

Fotokatalyyssissä rekombinaation vältäneet elektronit ja aukot voivat joko reagoida suoraan hajotettavan yhdisteen kanssa tai muodostaa uusia yhdisteitä ilman hapesta, vedestä ja hydroksyyli-ryhmistä. Mahdollisia yhdisteitä ovat superoksidi ($O_2^{\bullet-}$), dihapimmolekyyli (1O_2), hydroksyyli-iradikaali ($\bullet OH$) ja vetyperoksidi (H_2O_2). Nämä ovat helposti reagoivia yhdisteitä, joiden avulla fotokatalyyssillä voi hajottaa kaikki orgaaniset yhdisteet vedeksi, hiilidioksidiksi ja mineraalihapoiksi. (Huusko, 2014; Pore, 2010)

TiO₂:n heikkous on, että se kykenee hyödyntämään vain pientä osaa auringon tuottamasta säteilystä. Nanoteknologiassa tutkitaan mahdollisuuksia parantaa sen fotokatalyyttistä tehokkuutta. Nanokiteisen TiO₂:n kvantti-ilmiöiden hyödyntäminen on yksi keino parantaa fotokatalyyttistä aktiivisuutta. Nanokokoisen TiO₂:n energia-aukko on tavallista suurempi, joten fotogeneroitujen elektronien ja aukkojen hapetus- ja pelkistysominaisuudet vahvistuvat. Näin tapahtuva aktiivisuuden kasvattaminen vaatii suuremman energia-aukon vuoksi kuitenkin myös suuremman fotonien energian. Kvanttiefekti tapahtuu 1-2 nm kokoisilla hiukkasilla, joten myös suurempi pinta-atomien määrä tai kiteiden muoto ja koko voivat aiheuttaa fotokatalyyttisen aktiivisuuden kasvun nanokokoluokassa. (Chen & Mao, 2007; Pore, 2010)

TiO₂-materiaalin muokkaamisella pyritään fotokatalyyttisen aktiivisuuden kasvattamiseen ja näkyvän valon tehokkaampaan hyödyntämiseen. Muokkaamisessa käytettäviä toimenpiteitä: seostetaan TiO₂:a muilla alkuaineilla energia-aukon kaventamiseksi; lisätään värikästä orgaanista tai epäorgaanista yhdistettä TiO₂:n pinnalle, jolloin se kykenee hyödyntämään paremmin näkyvää valoa; yhdistetään TiO₂ ja muita puolijohteita varaustensiirtoreaktioiden indusoimiseksi tai valmistetaan erilaisia nanorakenteita. Seostamista käytetään yleisesti TiO₂:n ominaisuuksien parantamiseksi. TiO₂-nanopartikkelit soveltuvat seostettaviksi erityisen hyvin, koska ne kestävät rakenteen virheitä paremmin kuin suuremmat materiaalit. (Chen & Mao, 2007; Pore, 2010)

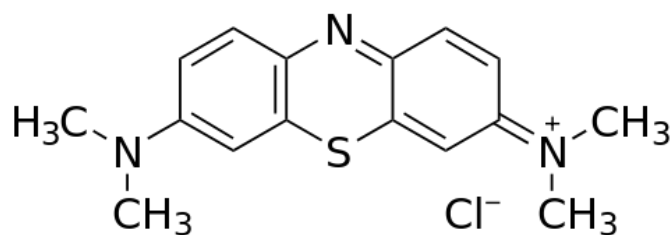
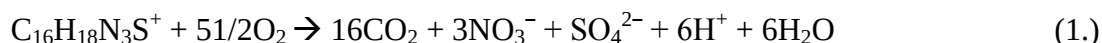
Nanorakenteilla pyritään yleensä kasvattamaan aktiivista pinta-alaa säteilyn hyödyntämisen maksimoimiseksi. Nanorakenteita kehitetään kahdella eri tavalla:

1. Valmistetaan suoraan erilaisia sauvamaisia, putkimaisia tai lankamaisia rakenteita ja erimuotoisia nanopartikkeleita.
2. Hyödynnetään sopivia kasvualustoja halutun muodon aikaansaamiseksi. Sopivat kasvualustat voidaan päällystää esimerkiksi ohutkalvolla. Kasvualustan voi joko poistaa tai jättää rakenteeseen. Jättämällä kasvualusta rakenteeseen saadaan valmistettua komposiittirakenteita. (Huusko, 2014; Pore, 2010)

Fotokatalyyttistä aktiivisuutta mitataan säteilyttämällä itse fotokatalyyttiä ja hajotettavaa yhdistettä UV- tai näkyvällä valolla. Hajoamisreaktiota tutkitaan IR- tai UV/Vis-spektroskopiolla. Yleisimmin aktiivisuuden mittauksessa käytettyjä yhdisteitä ovat veteen liuotettu metyleenisininen ja kiinteässä muodossa hajotettava steariinihappo (Kuvat 8 ja 9). Metyleenisininen on redox-indikaattori, jolla on myös väritön muoto, *leuco*

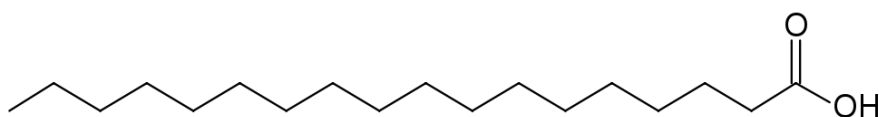
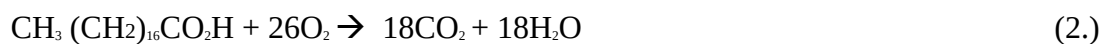
metyleenisininen. Väritön muoto voi syntyä pelkistymisen seurauksena ja häiritä fotokatalyyysin aktiivisuuden mittaamista. Sen esiintyminen voidaan helposti testata hapettamalla. Jos väritöntä muotoa esiintyy, hapetus ilmalla tai puhtaalla hapella palauttaa muodon takaisin metyleenisiniseksi. (Pore, 2010)

Metyleenisinisen fotokatalyyttinen hapetus tapahtuu useamman välivaiheen kautta (Houas *et al.* 2001). Hapetuksen kokonaisreaktio on (Lachheb *et al.* 2002):



Kuva 8. Metyleenisinisen rakennekaava.

Steariinihappo on tyydyttynyt orgaaninen yhdiste, joka hajoaa fotokatalyyssissä hiilidioksidiksi ja hapeksi. Steariinihapon fotokatalyyttinen hapettumisen kokonaisreaktio (Pore, 2010):



Kuva 9. Steariinihapon rakennekaava.

TiO₂:n nanomateriaalien sovelluskohteita ovat itsepuhdistuvat ja antibakteeriset materiaalit, UV-valonsuojaustuotteet, ympäristönpuhdistus, veden ja ilman puhdistus, elektroniikan komponentit, kaasusensorit ja tehokkaat aurinkokennot. (Chen & Mao, 2007; Dastjerdi & Montazer, 2009)

3.2 Tarveanalyysi

Tutkimuksen tarveanalyysi tehtiin oppikirjojen sisällönanalyysinä keväällä 2014. Sisällönanalyysin tarkoituksena on muodostaa tutkimusaineistosta selkeä sanallinen kuvaus (Tuomi & Sarajarvi, 2011). Analyysi sisälsi tutkittavien kohteiden etsimisen, yksinkertaistamisen, kerätyn aineiston ryhmittelyn ja eri luokkien muodostamisen. Sisällönanalyysin lähdeaineistoina käytettiin viiden yleisesti käytetyn yläkoulun kirjasarjan ja neljän lukion kirjasarjan oppimateriaaleja. Yläkoulun materiaaleista tutkittiin yhteensä 7 eri kirjaa, koska yksi kirjasarja oli jakanut materiaalinsa kolmeen eri kirjaan. Lukion kemian aineistona käytettiin neljän eri kirjasarjan kemian kursseja 1-5 vastaavia oppikirjoja. Näitä kirjoja oli yhteensä 20 kappaletta. Tutkimusmateriaalina käytettiin ainoastaan oppikirjoja. Kertauskirjoja, opettajan materiaaleja ja erilaisia työ- tai tehtäväkirjoja ei tutkittu. Tutkitut oppikirjat ja niissä esiintyneet nanoteknologian yhteyksien kuvaukset on esitetty tutkielman liitteissä 1 ja 2.

Tarveanalyysissä selvitettiin, kuinka nanoteknologia esiintyy kemian opetuksessa käytettävissä oppikirjoissa. Sisällönanalyysissä etsittiin opetustarkoituksessa käytettyjä mainintoja nanoteknologiasta ja sen sovelluksista. Oppikirjojen analyysissä huomioitiin vain selkeästi nanoteknologiaan liittyvät seikat, joten esimerkiksi kuvaa mahdollisesti sitä hyödyntävästä tuotteesta tai sovelluksesta ei huomioitu. Sisällönanalyysissä hiilen eri olomuotojen ja rakenteiden esittelyssä nanoputket, grafeeni ja fullereenit huomioitiin tarkastelussa, vaikka yhteyttä nanoteknologiaan ei välttämättä aina selitetty tai esitetty. Kuitenkin asiayhteydessä esiintyneet tiedot: nanoputki, atomikerroksen vahvuinen grafeeni, atomitason kokoluokasta puhuminen ja nanometri suuruusluokka, katsottiin olevan riittävä yhteys nanoteknologiaan. Hiilen nanomateriaalien huomioimiseen analyysissä vaikutti erityisesti se, että oppilaiden tai opiskelijoiden ajateltiin havaitsevan materiaalien liittyvän nanoteknologiaan.

Oppikirjoista tutkittiin tekstit, visualisoinnit ja työohjeet. Tekstistä pyrittiin etsimään esitettyä tietoa, kuten materiaali, toimintaperiaate, rakenne, sovellukset ja käyttökohteet. Visualisoinneista tutkittiin, mitä kuva esittää ja minkä luonnontieteellisen tiedon esittelytason kuvaus on kyseessä.

Visualisoinneissa huomioitiin luonnontieteellisen tiedon erityyppiset esitystasot. Näitä esitystasoja on kolme erityyppistä: makrotaso, symbolinen taso ja submikroskooppinen taso. Makrotaso esittää silmin havaittavia asioita, kuten tapahtumia kemiallisessa

reaktiossa. Symbolisella tasolla esitetään esimerkiksi kemian reaktioyhtälöitä tai molekyylikaavoja. Submikroskooppinen taso sisältää asiat, joita ei voi silmin havaita, kuten molekyyliarakenteet. Kemian ilmiöiden ymmärtämiseen tarvitaan tietoja kaikilta visualisoinnin tasoilta ja näiden tietojen sujuvaa yhdistämistä (Aksela, 2005). (Johnstone, 1993)

Tarveanalyysin kohteeksi valittiin kemian oppikirjat, koska ne vastaavat suuresta osasta kouluopetuksen sisällöstä ja niissä olevista nanoteknologian yhteyksistä ei ole aikaisempaa tutkimustietoa. Kärnä *et al.* luonnontieteiden osaamisen seurantaraportin mukaan yläkoulun fysiikan ja kemian opettajista 78 % käytti oppikirjaa opetuksessaan usein tai lähes aina. Vain 27 % opettajista käytti oppiaineen työkirjaa ja 28 % itse laadittuja materiaaleja usein tai lähes aina (Kärnä *et al.* 2012). Näiden tulosten perusteella oppikirjojen sisällönanalyysillä voi saada kattavan kuvan nanoteknologian sisältymisestä opetukseen. Lisäksi sisällönanalyysin avulla selviää, kuinka paljon ja millaista opetusmateriaalia opettajilla on helposti saatavilla. On silti muistettava, että nanoteknologiaa voi opettaa myös itse laadittujen materiaalien, tiedelehtien, mediassa esiintyvien uutisten tai internetistä löytyvien materiaalien avulla. Kuitenkin oppikirjojen ulkopuolisten lähteiden käyttö opetuksessa on selvästi oppikirjojen käyttöä vähäisempää.

Sisällönanalyysin tulokset on esitetty taulukossa 1 ja tuloksiin liittyvät yksinkertaistetut kuvaukset liitteessä 2. Tulosten esittelyssä jaettiin aineiston sisältö eri luokkiin kouluasteen, sisällön ja visualisointien mukaan. Sisällönanalyysin mukaan nanoteknologiaan liittyviä mainintoja esiintyi yhteensä 16 kappaletta, joista 6 oli yläkoulun ja 10 lukion oppikirjoista. Yläkoulun oppikirjoista 5 sisälsi ja 2 ei sisältänyt selkeästi nanoteknologiaan liittyviä mainintoja tai visualisointeja. Vastaavasti lukion kirjoista 6 sisälsi ja 14 ei sisältänyt mainintoja. Tyypillisin maininta oli lisätieto, jossa esiteltiin hiilen eri olomuotoja. Hiilen eri olomuodot sisälsivät yleensä nanoputket ja fullereenit sekä niiden rakenteet ja mahdolliset sovelluskohteet.

Taulukko 1. Oppikirjojen sisällönanalyysin tulokset.

Nanoteknologia oppikirjoissa	yläkoulu	lukio	yhteensä
tutkitut oppikirjat	5 kirjasarjaa 7 kirjaa	4 kirjasarjaa 20 kirjaa	27 kirjaa
nanoteknologiaan liittyviä mainintoja sisältävät oppikirjat	5	6	11
nanoteknologiaan liittyvien mainintojen määrät	6	10	16
maininta sijoitettu lisätieto-osioon	4	8	12
sisältö			
nanoteknologia yleisemmin	0	2	2
hiilen eri muotoihin liittyvät	6	6	12
muut maininnat	0	2	2
kuvaillaan rakennetta	6	8	14
esitetään ominaisuuksia	4	8	12
esitellään materiaaleja hyödyntäviä tieteen- tai teollisuuden aloja	3	6	9
esitellään vähintään yksi käytännön sovelluskohde	3	6	9
esitetään toimintaperiaatteiden kemiaa tarkemmin	0	0	0
Visualisoinnit			
Visualisoinnit yhteensä	11	15	26
submikroskooppinen taso	11	13	24
makrotaso	0	2	2
symbolinen taso	0	0	0

Kaikista maininnoista puolet oli sijoitettu jonkinlaiseen lisätieto-osioon. Jäljelle jääneistä 8 maininnasta vain 5 (kirjoissa C, E3, F2, G2 ja I2) sisältyi perinteiseen opetusosioon, koska 1 maininta kuului kurssin esittelyosuuteen (F2), 1 sisälsi vain kuvan selitteineen (I4) ja 1 oli kokeellinen (H4) työohje. Mainintojen määrän perusteella voidaan todeta nanoteknologiaan liittyvää kemiaa olevan hyvin vähän oppikirjoissa. Lisäksi oppimateriaalit on sijoitettu lisätieto-osioihin, jotka jäävät yleensä opetuksessa pienemmälle huomiolle. Nanoteknologiaan liittyvien mainintojen vähäinen määrä ja sijoittuminen lisätiedoksi johtuvat varmaan siitä, että aihealue ei sisälly opetussuunnitelmien perusteisiin (ks. luku 3.3).

Koko oppikirjojen sisällönanalyysissä löytyi vain yksi nanoteknologiaan liittyvä kokeellinen työ (kirja H4). Kokeellinen työ ei sisältänyt perinteistä laboratoriotoimintaa, vaan siinä piirretään, muotoillaan ja tutkitaan hiilen nanoputkia paperin avulla. Sisällönanalyysissä selvisi, että nanoteknologiaan liittyvä kemia sisälsi enimmäkseen puhtaasti hiilen nanomateriaalien kemialla (13/16 mainintaa). Muista kolmesta maininnasta kaksi käsitteli nanotiedettä ja -teknologiaa yleisemmin ja yksi oli jyvaskylän nanotiedekeskukseen liittyvä uutinen.

Nanoteknologiaa esitellään yleisemmin vain kahdessa lukion 2. kurssin oppikirjassa (F2 ja H2). Lukiossa kaikki maininnat painottuivat kursseihin KE2 *Kemian mikromailma* (7 mainintaa) ja KE4 *Metallit ja materiaalit* (3 mainintaa). Muut kemian kurssit eivät sisältäneet mainintoja selvästi nanoteknologiaan liittyvästä kemiasta. Huomionarvoista on myös, ettei yksikään maininnoista kuulu kaikille pakolliseen lukion 1. kemian kurssiin *Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Niinpä nykyisin lukion kemian opetus ei välttämättä tarjoa lainkaan nanoteknologiaan liittyvää opetusta.

Yläkoulun tutkituista kirjasarjoista neljään kirjasarjaan sisältyi yksi ja yhteen kaksi huomioitua nanoteknologiaan liittyvää mainintaa. Yläkoulun kaikki maininnat liittyivät hiilen eri esiintymismuotoihin ja viisi kuudesta maininnasta sijaitsi lisämateriaaliosioissa. Yläkoulun oppikirjoissa yhdessäkään ei esitelty tai määritelty nanotiedettä tai nanoteknologiaa. Tässä mielessä voi olettaa, etteivät lisätietosivuilla esitelty hiilen nanomateriaaleihin liittyvät maininnat vaikuta nanoteknologian oppimiseen. Voi siis ajatella, ettei oppilas saa yläkoulun kemianopetuksessa mitään käsitystä nanoteknologiasta.

Kemian teorian kannalta sisällönanalyysin tuloksena voidaan todeta, ettei yksikään maininta sisältänyt tarkempaa toimintatapaa tai esittänyt toiminnalle teoriaa. Jokainen nanomateriaaleja käsittelevä maininta sisälsi joko sanallisen tai visuaalisen rakennekuvauksen. Maininnoissa usein (9/16) esiintyi käytännön sovellukset ja mahdolliset tieteen- tai teollisuudenalat, joissa nanomateriaaleja hyödynnetään.

Visualisointeja oli lähes kaikkien mainintojen yhteydessä (14/16). Kaksi mainintaa, jotka eivät sisältäneet visualisointeja, olivat pieni lisätietona esitetty lehtiuutinen ja kokeellisen työn ohje. Kaikki visualisoinnit olivat submikroskooppisen tason kuvauksia ja niitä oli monesti useampia yhdessä maininnassa. Submikroskooppisen tason kuvaukset liittyivät suurimmaksi osaksi hiilen eri olomuotoihin. Poikkeuksia tästä oli vain kahdessa kuvassa, joista toinen esitti supramolekyyliä ja toisesta ei kerrottu, mitä se esittää.

Submikroskooppisen tason kuvauksista kaikissa muissa, paitsi kolmessa käytettiin pallotikkumallia. Näistä kolmesta yksi oli kalottimallinen kuvaus ja kaksi olivat tunnelimikroskooppikuvia. Makrotason kuvauksia oli kaksi kappaletta. Symbolisen tason kuvauksia eli nanoteknologia asiayhteydessä esitettyjä kemiallisia reaktiokaavoja ei esiintynyt yhtään kappaletta. Visualisoinnit painottuivat submikroskooppisen tason kuvauksiin hiilen eri olomuotojen rakenteista. Tästä syystä ne eivät tue toimintaperiaatteiden oppimista tai käytännön sovellusten tuntemista.

3.3 Nanoteknologia opetuksessa

Tässä luvussa esitellään, miten nanoteknologia liittyy opetussuunnitelman perusteisiin, mitä nanoteknologiasta voi opettaa yläkoulussa ja lukiossa ja miksi nanoteknologia pitäisi integroida kouluopetukseen.

Nanoteknologiaa ei mainita tämän hetkisisissä kansallisissa kemian opetussuunnitelman perusteissa. Tästä johtuen oppimiselle ei ole määriteltä myöskään tiettyjä tavoitteita tai oppimissisältöjä. Nanoteknologian puuttuminen opetussuunnitelmista koetaan suurimmaksi haasteeksi sen integroimisessa kouluopetukseen (Laherto, 2012). Kemian opetussuunnitelmissa on kuitenkin oppimiskuvaukset ja tavoitteet, joihin nanoteknologian voi ajatella sisältyvän. Nykyisin nanoteknologian kehittämät tuotteet kuuluvat jo osaksi oppilaiden arkielämää. Perusopetuksen opetussuunnitelmissa kemian opetuksen yleisenä tavoitteena on auttaa oppilasta ymmärtämään kemian ja teknologian merkitys arkielämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa. Kemian opetuksen tulisi myös antaa valmiuksia tehdä omia valintoja ja osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun esimerkiksi energiantuotannosta, ympäristöstä tai teollisuudesta (POPS, 2004). Myös lukion opetussuunnitelmissa kemian yleisenä tavoitteena esitetään opetuksen tukevan arkielämää ja teknologian ymmärrystä (LOPS, 2003). Tulevaisuudessa nanoteknologian alalle tarvitaan poikkitieteellisesti koulutettuja osaajia, joten nanotieteen opetuksen toivotaan sisältyvän pian jo lukio-opetukseen (Suomen Akatemia, 2011).

Yhdysvalloissa Stevens *et al.* ovat määrittäneet nanotieteiden ydinajatukset (*Big Ideas*) kouluopetukseen (luokille 7-12). Ydinajatukset sisältävät nanotieteiden oppimisen kannalta oleelliset käsitteet ja periaatteet. Niistä on koostettu lista, jonka avulla kuvataan keskeisimmät periaatteet opetuksen tavoitteiksi, oppimisen tueksi sekä tiedeyhteisön yleiseksi ohjeeksi. Alla on tutkijoiden yhteisymmärryksessä esittämä lista nanoteknologian opetuksen ydinajatuksista.

1. Koko ja mittakaava
2. Aineen rakenne
3. Voimat ja vuorovaikutukset
4. Kvantti-ilmiöt
5. Koosta riippuvat ominaisuudet
6. Itsejärjestyvyys
7. Välineet ja laitteistot
8. Mallit ja simulaatiot
9. Tiede, teknologia ja yhteiskunta. (Stevens *et al.* 2009)

Keskeisimmät ydinajatukset on esitetty tarkemmin opetustarkoitukseen kehitetyssä kirjassa, joka on suunnattu ensisijaisesti opettajille, tutkijoille ja opetussuunnitelmien kehittäjille. Kaikki esitetyt ajatukset eivät ole täysin uusia, vaan ne sisältyvät jo osittain nykyiseen kouluopetukseen. Niitä ei ole tarkoitettu opetettavaksi yhdellä kertaa tai pelkästään nanoteknologian kontekstissa. Ydinajatuksia tulisi opettaa sopivissa kohdissa opetuksen edetessä, myös nykyisten opetussisältöjen yhteydessä. Huomioitavaa on, että Suomessa nanoteknologian ydinajatuksien opetus jakautuu useampaan oppiaineeseen: kemia, fysiikka ja biologia (Laherto, 2012). Kirjassa esitellään jokaisen ydinajatuksen osalta laajemmin myös tarkemmat oppimistavoitteet, jotka on lyhyesti koottu taulukkoon (liite 3). Taulukossa 2 on pääpiirteittäin esitelty nanoteknologian keskeisimmät ydinajatukset. (Stevens *et al.* 2009)

Taulukko 2. Nanoteknologian ydinajatuksat. (Stevens *et al.* 2009)

Koko ja mittakaava	Kokoon ja geometriaan liittyvät tekijät helpottavat kuvailemaan ainetta ja sen käyttäytymistä.
Aineen rakenne	Materiaalit koostuvat rakenneyksiköistä, joilla on usein hierarkkinen rakenne. Atomit reagoivat keskenään muodostaen molekyylejä. Suuremman tason järjestäytymiseen osallistuvat atomit, molekyylit tai nanokoon rakenteet muodostaen nanokokoluokan kokonaisuuksia ja rakenteita.
Voimat ja vuorovaikutukset	Vuorovaikutukset voi kuvata erilaisten voimien avulla, mutta niiden suhteellinen vaikutus on riippuvainen mittakaavasta. Nanomittakaavassa sähköiset vuorovaikutukset ovat hallitsevia.
Kvantti-ilmiöt	Erilaisilla malleilla voi selittää ja ennustaa aineen kokoluokasta ja olosuhteista riippuvia ominaisuuksia. Nanokokoluokassa kappaleiden massat ovat hyvin pieniä ja kvantti-ilmiöt ovat merkittäviä.
Koosta riippuvat ominaisuudet	Aineen ominaisuudet voivat muuttua kokoluokan muuttuessa. Muutos tuo mukanaan usein odottamattomia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat uudenlaiset käyttömahdollisuudet, joita nanoteknologiassa hyödynnetään.
Itsejärjestyvyys	Tiettyissä olosuhteissa jotkut materiaalit voivat spontaanisti järjestäytyä organisoidusti. Nanokokoluokassa prosessi tarjoaa keinoja aineen hallitsemiseen ja materiaalien valmistukseen.
Välineet ja laitteistot	Uusien välineiden ja laitteiden kehittyminen auttaa tiedettä ymmärtämään, hallitsemaan, mittaamaan ja valmistamaan materiaaleja ennennäkemättömällä tarkkuudella.
Mallit ja simulaatiot	Mallit ja simulaatiot auttavat visualisoimaan, selittämään ja ennustamaan rakenteita, niiden ominaisuuksia ja ilmiöitä. Pienessä kokoluokassa ja monimutkaisissa kohteissa mallit ja simulaatiot ovat erityisen hyödyllisiä.
Tiede, teknologia ja yhteiskunta	Tieteen edistyminen auttaa selittämään, miksi ja miten asiat toimivat. Teknologia hyödyntää uutta tietoa ratkaisemaan yhteiskunnallisia ongelmia. Nanoteknologia on kehittyvä tieteenala, joten se mahdollistaa havainnoinnin ja osallistumisen tieteelliseen prosessiin sekä niihin liittyviin päätöksiin siitä, kuinka uutta teknologiaa käytetään.

Luonnontieteelliseen osaamisen (engl. *scientific literacy*) edistäminen on kansainvälisesti hyvin merkittävä oppimistavoite. Se on erittäin laaja yläkäsite, jonka voi ajatella sisältävän kaiken luonnontieteiden oppimisesta. Antti Laherto on väitöskirjassaan perustellut nanotieteen ja nanoteknologian kouluopetukseen integroinnin tärkeyttä erityisesti luonnontieteellisen osaamisen kannalta. Tässä Pro gradu-tutkielmassa käytetään termiä luonnontieteellinen osaaminen, koska sen katsotaan kuvaavan laajaa käsitettä parhaiten. Myös muita suomenkielisiä termejä, kuten luonnontieteellinen lukutaito tai yleissivistys, käytetään kuvaamaan tätä samaa asiaa.

Yleensä tieteen ja teknologian kehittämisen tukeminen pohjautuu taloudellisen kasvun tavoitteluun. Luonnontieteellisen osaamisen kasvattamisen turvaisi tulevaisuuden osaajien (tutkijat, insinöörit ja muut luonnontieteiden ammattilaiset) riittävän määrän sekä voisi lisätä tieteen ja teknologian hankkeiden tukemista. Kouluopetuksen kannalta luonnontieteellisen osaamisen tarve liittyy enemmän yksilöiden ymmärrykseen ja taitoihin käsitellä tiedettä ja teknologiaa koskevia asioita arkielämässä. (Laherto, 2012)

OECD on määritellyt PISA 2015-tutkimuksen viitekehysesitutuksen luonnostelmassaan luonnontieteellisen osaamisen: ”*Luonnontieteellinen osaaminen on kykyä osallistua luonnontieteen ilmiöihin ja ajatuksiin liittyviin keskusteluihin vuorovaikutteisena kansalaisena.*” Samassa yhteydessä käsitettä selitetään kuvailemalla luonnontieteellisen osaamisen hallitsevaa yksilöä (*scientifically literate person*): ”*Luonnontieteellisen osaaminen tarkoittaa yksilön kykyä osallistua järkevään keskusteluun tieteestä ja teknologiasta. Tähän tarvitaan osaamista ja taitoja:*

1. Selittää ilmiö tieteellisesti.

Tunnistaa, esittää ja arvioida selityksiä luonnon ja teknologian ilmiöistä.

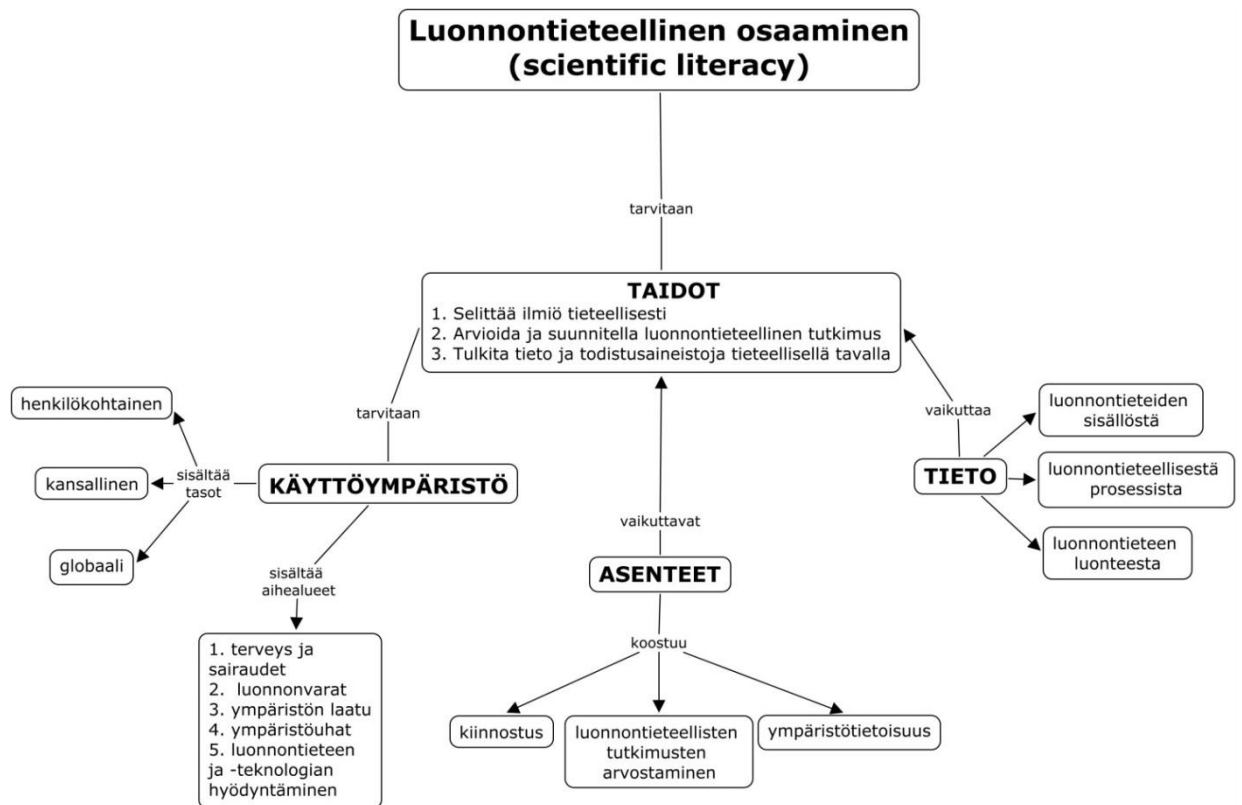
2. Arvioida ja suunnitella luonnontieteellisiä tutkimuksia.

Kuvailla ja arvostella tieteellisiä tutkimuksia ja ajatuksia sekä esittää tieteellisiä kysymyksiä.

3. Tulkita tietoja ja todistusaineistoja tieteellisellä tavalla.

Analysoida ja arvioida tieteellistä tietoa, esittää väitteitä ja perusteluita monipuolisesti sekä tehdä asianmukaisia luonnontieteellisiä johtopäätöksiä.” (OECD, 2014)

Nykykuorelle luonnontieteellisen osaamisen (kuva 10) on tarkoitus antaa valmiuksia nyky-yhteiskunnassa elämiseen. Tavoitteena ei ole, että kaikista tulisi luonnontieteen asiantuntijoita, vaan auttaa ymmärtämään luonnontieteen ja teknologian vaikutuksia omassa lähipiirissään. Vaikutuksia tulisi ymmärtää henkilökohtaisella, laajemmin omaa maataan koskevalla paikallisella tai kansallisella ja globaalilla tasolla. Ymmärryksen ajatellaan olevan käyttöympäristöihin liittyvää tietoa 15-vuotiaan oppilaan tasolla. (OECD, 2014)



Kuva 10. Luonnontieteellinen osaaminen.

Olenneisimmat käyttöympäristöt ovat terveys, luonnonvarat ja ympäristöön liittyvät seikat, joissa luonnontieteen ja teknologian hyödyntäminen ja vaikutukset tulisi tunnistaa. Nuori tarvitsee käyttöympäristöön liittyvien tietojen lisäksi tietoa luonnontieteiden sisällöstä tosielämän tilanteissa, luonnontieteellisen prosessin vaiheista ja menetelmistä sekä luonnontieteen luonteesta. Näiden tietojen avulla nuori kehittää itselleen taitoja: selittää ilmiöitä tieteellisesti, arvioida ja suunnitella luonnontieteellinen tutkimus sekä tulkita eri lähteistä saatavaa tietoa tieteellisellä tavalla. Näiden taitojen kehittymiseen vaikuttavat myös asenteet, kuten luonnontiedettä kohtaan koettu kiinnostus ja arvostus. Luonnontieteellinen osaaminen määritetään esiteltujen taitojen käyttämisinä. Niiden avulla nuoren ajatellaan kykenevän osallistumaan itseään koskeviin poliittisiin päätöksiin esimerkiksi teknologioiden käytöstä. (OECD, 2014)

Nanoteknologia on luonnontieteellisen osaamisen kannalta merkittävä ja kiinnostava aihepiiri, koska se liittyy ajankohtaisiin arkielämään ja yhteiskuntaa käsitteleviin päätöksiin ja keskusteluihin. Näin nanoteknologia tarjoaa sopivan mahdollisuuden pohtia tieteen, teknologia, yhteiskunnan ja ympäristön välisiä vaikutuksia sekä kehittää samalla laajemmin tarpeellista luonnontieteen osaamista. Kouluopetuksen pitäisi tarjota nuorille

riittävät tiedot ja taidot, joiden avulla pystyisi tekemään päätöksiä ja osallistua nanoteknologiaan liittyviin keskusteluihin. Tällaisia aihealueita ovat esimerkiksi terveys, energian tuotanto ja ympäristö. Kykyä tehdä päätöksiä itsenäisesti ja järkevästi pidetään erityisen tärkeänä taitona modernin yhteiskunnan kansalaiselle. Kouluopetuksen tulisi tarjota myös tietoa nanoteknologian luonteesta ja toimintaprosessista. Näin mahdollistettaisiin syvempi ymmärrys nanoteknologian toiminnasta, mahdollisuuksista ja haasteista, jotka ovat ratkaisevassa osassa yhteiskunnallisissa keskusteluissa ja päätöksenteossa. (Laherto, 2012)

Laherto on tutkinut suomalaisten luonnontieteiden opettajien näkemyksiä nanoteknologiasta ja aihealueen opettamisesta koulussa. Tutkimusten mukaan nanoteknologiaa opetetaan kouluissa hyvin harvoin ja silloinkin vain ohimennen. Opetuksen vähäisyys johtuu paljon nanoteknologian puuttumisesta opetussuunnitelman perusteisiin kirjatusta oppimistavoitteista. Näin nanoteknologiaan liittyvä opetus ja keskustelut jäävät opettajien kiinnostuksen ja aktiivisuuden varaan. Aihealueen opetusta vaikeuttaa se, ettei opetussuunnitelmien sisältöön kuuluvan opetuksen lisäksi ole aikaa ylimääräiselle opetukselle. Nanoteknologiaan liittyvä laajempi opetus koulussa edellyttäisi muutoksia opetussuunnitelmien perusteissa. (Laherto, 2012)

Tutkimuksessa selvisi opettajien kokevan mahdolliseksi nanoteknologian opetuksen integroinnin nykyisen kouluopetuksen eri oppiaineisiin. Opettajien mielestä nanoteknologiaan liittyvistä ydinajatuksista ensimmäiset neljä (koko ja mittakaava, aineen rakenne, voimat ja vuorovaikutukset sekä kvantti-ilmiöt) katsottiin jo kuuluvan jollakin tapaa kouluopetukseen, joten ne soveltuisivat parhaiten integroitaviksi aihepiireiksi. Loppujen viiden ydinajatuksen (koosta riippuvat ominaisuudet, itsejärjestyvyys, välineet ja laitteistot, mallit ja simulaatiot sekä tiede, teknologia ja yhteiskunta) ei katsottu kuuluvan suoraan luonnontieteiden opetussuunnitelmiin vaan nanoteknologiaa koskeviin ilmiöihin, sovelluksiin ja menetelmiin. Silti myös nämä koettiin tärkeiksi opetuksen kannalta. Integrointia ei ajateltu toteuttaa vain lisäämällä esitettyjen ydinajatusten sisältöjä opetukseen vaan muuttamalla opetussuunnitelmia paremmin tarkoitukseen soveltuviksi. Integroitavia oppiaineita olisivat ensisijaisesti fysiikka ja kemia. Myös biologia ja matematiikka koettiin integrointiin soveltuviksi oppiaineiksi. (Laherto, 2011, 2012)

Suomessa opettajilla on suuri rooli opetuksen ja opetussuunnitelmien toteutuksessa. Tästä syystä opettajien mielipiteitä ja näkemyksiä opetuksen kehittämisestä kannattaa tutkia ja

huomioida ne opetusta kehitettäessä. Nanoteknologian opetusta vaikeuttavat opettajien kokemat vaistonvaraiset ja ulkoiset esteet. Vaistonvaraiset esteet sisälsivät: opetukseen tarvittavan osaamisen puuttumisen, uskomukset nanoteknologiaan liittyvän opetuksen vaikeudesta ja heikon minäpystyvyysskuvan aihealueen opetuksen suhteen. Ulkoiset esteet olivat: rajalliset resurssit, liian vähäinen aika jo nykyisten asioiden opettamiseen, totuttujen opetuskäytäntöjen muuttaminen ja tärkeimpänä opetusmateriaalien puute. (Laherto, 2012)

Nanoteknologian opetusmateriaalien osalta opettajat kokivat, että heillä on joko erittäin huonosti tai ei ollenkaan opetusmateriaaleja. He toivoivat opetuskäyttöön valmiiksi kehitettyjä materiaaleja. Oppikirjoja ei löydy suomeksi, mutta englanninkielisiä materiaaleja on jo saatavilla. Myös internetissä opetusmateriaalit ovat enimmäkseen englanniksi. Kokeellisen työskentelyn osalta koettiin puuttuvan itse opetusmateriaalien lisäksi tarvittavat laitteet, kuten atomivoimamikroskooppi. Ulkoisten ja vaistovaraisten esteiden poistamiseen tarvittaisiin opettajien täydennyskoulutusta, verkottumista ja uusia opetusmateriaaleja. Näiden puuttuessa nanoteknologian opetus ehdotetaan toteutettavaksi koulun ulkopuolisten oppimisympäristöjen avulla. Ulkopuolisilla oppimisympäristöillä tarkoitetaan opintokäyntejä suomalaisiin nanoteknologia-alan yrityksiin, yliopistoihin tai niiden vierailijoille tarkoitettuihin oppimisympäristöihin, luonnontieteellisiin museoihin ja tiedekeskuksiin. (Laherto, 2011)

Yleisesti oppilaiden on vaikea ymmärtää nanomittakaavan kokoluokka ja suhde makromailmaan, eivätkä aineen rakenteetkaan ole tuttuja. Niinpä nanoteknologian opetuksen alkuvaiheessa kannattaa tutustua aineen rakenteeseen, kokoluokkaan ja mittakaavaan liittyviin perusteisiin ja siirtyä tämän jälkeen muihin keskeisiin ydinajatuksiin. Nanoteknologiaan liittyvän opetuksen alussa on tärkeää esittää määritelmän avulla, mitä nanoteknologialla tarkoitetaan sekä esittää visuaalisesti nanokokoluokan mittakaava (O'Connor & Hayden, 2008). (Laherto, 2011)

Luonnontieteiden opettajien näkemys siitä, mitä yläkoulussa pitäisi opettaa, painottui nanoteknologian vaikutuksiin. He kokivat nanoteknologian tuotteiden ja sovellusten esittelyn olevan kaikkein tärkeintä kouluopetuksessa. Mainitut tuotteet ja sovellukset koskisivat lääketiedettä, elektroniikkaa ja pinnoitteita. O'Connorin ja Haydenin mukaan alkuvaiheessa olevien luonnontieteiden opiskelijoiden mielestä arkielämään liittyvät sovellukset lisäävät nanoteknologian opiskelun kiinnostusta. Sovelluksista erilaiset pinnoitteet koettiin kiinnostavina, mutta lääketieteeseen liittyviä nanoteknologian

sovelluksia pidettiin kaikkein kiinnostavimpina (O'Connor & Hayden, 2008). Nanoteknologian opetuksen sisällön osalta yläkoulun opetuksen toivottiin painottuvan enemmän sovelluksiin ja arkielämän yhteyksiin. Kemian teoriaa toivottiin käsiteltävän tarkemmin vasta lukio-opetuksessa. (Laherto, 2011)

Nanoteknologia on kiinnostava ja kasvava ala, joka voi motivoida opiskelemaan luonnontieteitä. Se koskettaa jatkuvasti enemmän arkielämää ja yhteiskunnallisia kysymyksiä, esimerkiksi terveyteen ja ympäristöön liittyen. Näistä aiheista ollaan yleisesti kiinnostuneita, joten ne esiintyvät paljon myös mediassa. Mediassa esitetyt nanoteknologian vaikutukset ja sovellukset voivat kehittää luonnontieteellistä osaamista sekä antaa kipinän aiheiden tarkempaan tutkimiseen. Luonnontieteellisessä osaamisessa tieto tieteen vaikutuksista on tärkeässä roolissa päätöksentekoon tarvittavissa taidoissa. Siksi nanoteknologian tuotteisiin ja sovelluksiin liittyen pitäisi ymmärtää myös niiden hyödyt ja haitat. (Laherto, 2012)

Oppilaiden kiinnostus on tärkeässä osassa luonnontieteiden oppimisen ja jatko-opintoihin hakeutumisen kannalta. Kiinnostavuus kannattaa ottaa opetuksessa huomioon ja asettaa se yhdeksi tavoitteeksi. Kiinnostus voidaan määritellä ilmiöksi, joka esiintyy yksilön ollessa vuorovaikutuksessa elinympäristössä esiintyvän kohteen kanssa. Siihen kuuluu tiedostettu toiminta, joka lisää vuorovaikutusta kiinnostuksen kohteeseen (Hidi & Renninger, 2006). Usein kiinnostus jaetaan henkilökohtaiseen ja tilannekohtaiseen kiinnostukseen. Henkilökohtainen kiinnostus syntyy vähitellen, on usein pysyvää ja vaikuttaa näin yksilön tietoihin ja arvomaailmaan. Henkilökohtaisen kiinnostuksen heräämiseen on vaikeampi vaikuttaa kouluopetuksella, mutta tilannekohtaisen kiinnostuksen syntymiseen voidaan vaikuttaa käyttämällä kiinnostavia kontekstuaalisia lähestymistapoja tai opetusmenetelmiä. Tilannekohtainen kiinnostus on tilannesidonnaista ja usein lyhytaikaista, mutta voi myöhemmin muuttua henkilökohtaiseksi kiinnostukseksi. (Krapp & Prenzel, 2011; Lavonen *et al.* 2010)

Lavonen *et al.* ovat tutkineet suomalaisten yläkoulun oppilaiden luonnontieteiden kiinnostuksen kohteita ROSE (*The Relevance of Science Education*)-tutkimuksen vastausten pohjalta. Kansainvälisenä yhteistyötutkimuksena toteutetulla ROSE-tutkimuksella selvitettiin oppilaiden asenteita ja motivaatiota oppia luonnontieteitä ja teknologiaa. Yleisesti suomalaisnuorten kiinnostus kemiasta on huolestuttavan vähäistä. Tutkimuksen mukaan pojat olivat keskimäärin selvästi tyttöjä kiinnostuneempia

teknologiasta sekä teknologian ja yhteiskunnan välisistä suhteista. Tyttöjä taas kiinnosti keskimääräistä poikia enemmän monialaiset ja ihmisen terveyteen liittyvät asiat. Ympäristöön liittyvät aiheet kiinnostivat tasapuolisesti kaikkia oppilaita. Ympäristöön liittyvien aiheiden liittäminen oppilaiden arkielämään voi kasvattaa kiinnostusta. (Lavonen *et al.* 2010)

3.3.1 Tiede, teknologia ja yhteiskunta -opetus

STS-opetuksella (*Science – Technology - Society*) tarkoitetaan lähestymistapaa, jossa luonnontieteen, teknologian ja yhteiskunnan välisiä yhteyksiä tuodaan esille. Perinteisesti STS-opetustapa tarkoittaa kokonaisvaltaista oppilaskeskeistä toimintaa, jossa opettaja toimii vain oppimisen tukena. Oppimisen lähtökohtaiset ongelmat ja käsiteltävät aihealueet liittyvät yleensä arkielämään. Opiskelun lähtökohdat valitsee oppilas, joka pyrkii aktiivisesti ratkaisemaan ongelmat luonnontieteellisten menetelmien avulla. (Yager, 1991).

STS-opetus on vähitellen saanut erilaisia suuntauksia, joissa yhteiskunnalliset, teknologiset, sosiologiset painotukset ovat erilaiset (Zeidler *et al.* 2005). Kun ympäristöön liittyvät näkökulmat on otettu enemmän huomioon, puhutaan STSE-opetuksesta. Eettisiä ja moraalisia näkökulmia huomioitaessa puhutaan SSI (*Socioscientific Issues*)-opetuksesta (Zeidler *et al.* 2005). STSE- ja SSI-opetus ovat kontekstuaalisia opetustapoja, joiden avulla halutaan lisätä opetuksen kiinnostavuutta ja tuoda opetukseen arkielämän yhteyksiä sekä tarkoituksenmukaisuutta (Lavonen & Meisalo, 2010b). Nykyinen STSE-opetuksen visio korostaa tiedettä kaikille filosofiaa, jonka mukaan opetuksen tulisi huomioida enemmän oppilaan luonnontieteelliseen osaamiseen liittyvien taitojen kehittämistä. Yleisesti STSE-opetus liittää perinteisen teorian tiedon laajempaan näkökulmaan asettamalla luonnontieteet sosiologiseen, teknologiseen, kulttuuriseen, eettiseen tai poliittiseen kontekstiin. (Pedretti & Nazir, 2011)

Nanoteknologian kehittyminen on lisännyt odotuksia ekonomisista, sosiaalisista ja lääketieteellisistä hyödyistä. Lisäksi tulevaisuudessa nanoteknologian odotetaan tarjoavan ratkaisuja energiatuotantoon, ympäristö- ja terveysuhkiin. Samat aihepiirit ja ongelmat kuuluvat STSE-opetukseen, joten nanoteknologia tarjoaa ajankohtaisen kontekstin niiden opettamiseen. (Cutcliffe *et al.* 2012)

Tiede, teknologia ja yhteiskunta yhteydet kuuluvat myös nanoteknologian opetuksen ydinajatuksen. Tämä ydinajatus on kuvattu aikaisemmin taulukossa 2. Siihen liittyvät oppimistavoitteet on jaettu neljään osaan:

- Nanotiede ja -tekniikka kuvaavat juuri nyt etenevää ja vuorovaikutteista tieteellistä prosessia, joka kehittää uutta teknologiaa.
- Tutkijat, insinöörit, poliitikot, liikemiehet ja kansalaiset tekevät päätöksiä, jotka vaikuttavat tieteen ja teknologian kehittymiseen sekä teknologian käyttöön yhteiskunnassa.
- Tieteen kehittyminen (jopa yksi löydös tai innovaatio) voi vaikuttaa merkittävästi itse tieteeseen ja sitä kautta yhteiskunnallisiin muutoksiin.
- Nanorakenteita tulee arvioida ihmisille ja ympäristölle koituvien riskien ja hyötyjen kautta, koska uusien materiaalien osalta todelliset vaikutukset voivat ilmetä vasta myöhemmin. (Stevens *et al.* 2009)

3.3.2 Kokeellisuus nanoteknologian opetuksessa

Opetuksessa käytetyt työtavat vaikuttavat oppilaiden kiinnostukseen ja sitä kautta kemian oppimiseen. Lavosen *et al.* tutkimuksessa todetaan oppilaiden kokevan kokeellisuuden määrän sopivaksi. Tutkimuksen mukaan oppilaat toivovat lisää ryhmissä työskentelyä, keskustelua sekä kriittistä ja luovaa ajattelua kehittäviä työtapoja. Näitä työtapoja voi sisällyttää kokeelliseen työskentelyyn aiheeseen sopivien tehtävien ja kysymysten avulla. Perinteinen kokeellinen opetus mielletään yleensä demonstraatioiksi, oppilastöiksi, laboratoriotyöskentelyksi tai työskentelyksi laajempien projektien parissa. Kokeellisuudella voidaan tarkoittaa lisäksi opintokäyntejä, oppilaiden omakohtaista toimintaa, audiovisuaalisten apuvälineiden tai kerronnan avulla tapahtuvaa toimintaa. (Lavonen & Meisalo, 2010a; Lavonen *et al.* 2010)

Kemian kouluopetuksessa kokeellisuudella on merkittävä rooli ja kemiasta oppiaineena pyritään antamaan käsitys kokeellisesta luonnontieteestä. Opettajista 95 % on sitä mieltä, että kemiaa opitaankin parhaiten tekemällä ja lisäksi oppilastyöt koetaan oppimisen kannalta tehokkaaksi työtavaksi (Aksela & Juvonen, 1999). Kokeellisuus on vahvasti esillä myös kemian opetussuunnitelmien perusteissa. Yläkoulun opetussuunnitelmassa esitetään:

”Opetus tukeutuu kokeelliseen lähestymistapaan, jossa lähtökohtana on elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden havaitseminen ja tutkiminen. Tästä edetään ilmiöiden tulkitsemiseen, selittämiseen ja kuvaamiseen sekä aineen rakenteen ja kemiallisten reaktioiden mallintamiseen kemian merkkikielellä. Kokeellisuuden tulee auttaa oppilasta hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta ja omaksumaan uusia luonnontieteellisiä

käsitteitä, periaatteita ja malleja, kehittää käden taitoja, kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostaa oppilasta kemian opiskeluun.” (POPS, 2004)

Lukion opetussuunnitelman perusteissa puolestaan esitetään:

”Kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely. Monipuolisin työtavoin ja arviointimenetelmin opiskelijoita ohjataan kemian tietojen ja taitojen sekä persoonallisuuden kaikkien osa-alueiden kehittämiseen. Kemian opetuksen toteutuksessa otetaan huomioon opiskelijoiden opiskeluvalmiudet ja luodaan myönteinen kuva kemiaa sekä sen opiskelua kohtaan.” (LOPS, 2003)

Yläkoulussa kokeellisuus on erityisen tärkeässä osassa ja sitä toteutetaan hyvin usein oppitunneilla (Kärnä *et al.* 2012). Kemian opetuksen tavoitteissa selkeästi kokeellisuuteen liittyy useita tavoitteita.

Perusopetuksen opetussuunnitelmissa mainitaan, että opiskelija:

- *”osaa työskennellä annetun ohjeen mukaan turvallisesti yksin ja ryhmässä;*
- *osaa tehdä yksinkertaisia luonnontieteellisiä kokeita, esimerkiksi kokeen, jossa tutkitaan aineen palamista, palamistuotteen liukenemista veteen ja syntyneen vesiliuoksen happamuutta;*
- *osaa esittää kokeidensa tulokset ja tulkita niitä;*
- *osaa tutkia aineiden ominaisuuksia ja käyttää tuloksia alkuaineiden ja yhdisteiden luokittelussa, tunnistamisessa ja erottamisessa, esimerkiksi epäjalot ja jalot metallit.”* (POPS, 2004)

Lukion opetussuunnitelmissa mainitaan, että opiskelija:

- *”osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä;*
- *osaa tehdä ilmiöitä koskevia kokeita ja oppii suunnittelemaan niitä sekä osaa ottaa huomioon työturvallisuusnäkökohdat;*
- *osaa tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille;*

- *saa kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan.” (LOPS, 2003)*

Lisäksi lukion opetussuunnitelman kurssikohtaisissa tavoitteista jokaisen kurssin kohdalta löytyy kokeellisuuteen liittyvä maininta. Näissä tavoitteet ovat oppia kokeellinen työskentely tai opittavaan aihealueeseen liittyvien ilmiöiden tutkiminen (LOPS, 2003).

Nanoteknologian liittyviä kokeellisia opetusmateriaaleja ei ole Suomen kemian oppimateriaaleissa saatavilla (ks. luku 3.2). Niitä on kuitenkin saatavilla internetistä englanniksi, mutta suomalaiseen kouluopetukseen kehitettyjä materiaaleja on hyvin vähän saatavissa. Jyväskylän yliopiston opettajankoulutuslaitos on kehittänyt joitakin kokeellisia opetusmateriaaleja ja julkaissut ne verkkosivuillaan (<http://www.nanokoulu.net>). Varsinaisia nanoteknologian kokeelliseen työskentelyyn tarkoitettuja materiaaleja, joita voi tutkia tai joiden avulla nanomateriaaleja pystyy valmistamaan, ei luultavasti tavallisilta kouluilta löydy (Laherto, 2012). Nanoteknologian opetukseen on ainakin ulkomailta saatavissa erilaisia materiaalikonaisuuksia, mutta niiden hankintaa rajoittaa kokeelliseen työskentelyyn käytettävissä olevat resurssit ja se, että niitä ei ole kehitetty suomen kouluopetukseen. Niinpä nanoteknologian kokeellisten töiden tulisi olla helposti käytettäviä ja vähän resursseja vaativia (Laherto, 2012).

Kokeellisten oppilastöiden ajatellaan yleisesti tukevan luonnontieteiden oppimista monin tavoin. Ne esimerkiksi helpottavat käsitteiden ja periaatteiden oppimista, kehittävät työskentelytaitoja, auttavat luonnontieteiden luonteen hahmottamisessa, lisäävät kiinnostusta ja motivaatiota sekä positiivista asennetta (Lavonen & Meisalo, 2010a). Oppimisen tulemisen kannalta oppilastyön tulisi sisältää seuraavia ominaisuuksia:

- Työlle asetetaan muutama selkeä tavoite.
- Työ kohdistaa oppilaiden huomion tarkasteltavan ilmiön piirteisiin, jotka ovat olennaisia tietorakenteen kehittymisessä.
- Työ aktivoi ennen työskentelyä oppilaiden olemassa olevat tietorakenteet.
- Opettaja voi seurata oppilaiden toimintaa ja puhetta työskentelyn aikana.
- Työn tulosten tarkastelu johtaa luokitteluun, yhteyksien, riippuvuuksien tai vertailujen esittämiseen.
- Työskentelyn jälkeen ohjataan pohtimaan ja käyttämään tuloksia sekä perustelemaan asioita tulosten avulla.
- Työskentely ja tulosten käsittely synnyttävät sosiaalista vuorovaikutusta. (Millar, 2004)

Kokeellinen työskentely on laajasti käytetty ja tärkeä osa tiedeopetusta. Sitä pidetään tehokkaana menetelmänä käytännön laboratoriotyöskentelytaitojen oppimisessa ja tulevaisuuden osaajien motivoinnissa. Esimerkiksi Englannissa 71 % oppilaista kokee kokeellisen työskentelyn olevan yksi kolmesta kaikkein mukavimmista opetustavoista. Toisaalta vain 38 % oppilaista koki sen olevan yksi kolmesta kaikkein hyödyllisimmistä ja tehokkaimmista työtavoista. Kokeellisella opetuksella voi olla useita tavoitteita esimerkiksi kiinnostavuus ja laboratoriotyöskentelytaidot, joten yleisellä tasolla kokeellisuutta ei voi arvioida, mutta tieteellisten toimintaperiaatteiden oppimisen kannalta työtavan tehokkuuden voi kyseenalaistaa. Yleisesti ajatellaan myös, että kokeellinen työskentely herättää oppilaiden kiinnostuksen, mutta käytännössä kiinnostus on usein vain tilannekohtaista ja kokeellisuus koetaan teoriaopiskelua mukavammaksi, jännittävämmäksi ja hauskemaksi (Abrahams, 2009). Kokeellisen työskentelyn oletetaan kuitenkin auttavan oppilaita oppimaan käytännön taitojen lisäksi tutkittavien ilmiöihin liittyvät tieteelliset ideat. (Abrahams & Millar, 2008)

Opettajalla tai opetusmateriaalin suunnittelijalla on omat tavoitteensa, mitä kokeellisessa työssä käytännössä tehdään ja mitä tekemisen avulla opitaan. Käytännössä oppilaiden toiminta kokeellisessa työskentelyssä ei täysin vastaa tavoitteita vaan huomio keskittyy usein epäolennaisiin asioihin. Vaikka oppilaiden havainnot ja toiminta vastaisivatkin tavoiteltua toimintaa, ei havaintojen ja tieteellisen teorian välille synny välttämättä yhteyttä. Näin tärkeimmät kokeelliselle työskentelylle asetetut teoretietiedon oppimistavoitteet voivat jäädä saavuttamatta. Tehokkuus on kokeellisen työn oppimistavoitteiden kannalta erityisen tärkeää. Sitä voi parantaa tiedostamalla työtapaan liittyvät ongelmat ja auttamalla oppilaita ajattelemaan työssä tehtäviä havaintoja tieteellisemmin, samalla tavalla kuin opettajakin niitä ajattelee. Kokeellisessa työskentelyssä oppimisen tehokkuutta parantaa myös opittavan teorian ja työskentelyssä tehtyjen havaintojen yhteyden selittäminen tai muulla tavoin tarkempi esittäminen. (Abrahams & Millar, 2008)

3.4 Yhteenveto

Nanoteknologia on nuori ja kasvava ala, jonka kehityksen myötä valmistetaan jatkuvasti enemmän tuotteita elinympäristöömme. Tarveanalyysin mukaan oppikirjoissa on hyvin vähän nanoteknologiaan liittyvää materiaalia (ks. luku 3.2). Nämä materiaalit on liitetty suurimmaksi osaksi lisätietona oppikirjoihin. Yläkoulun oppikirjoissa ei nanoteknologiaa käsitellä yleisellä tasolla lainkaan, ja siihen liittyvät aihealueet koskevat vain hiilen eri olomuotoja. Osassa lukion oppikirjoista nanoteknologia esitellään myös yleisellä tasolla, mutta muuten oppimateriaali painottuu hiilen eri olomuotoihin.

Teoreettisen tarveanalyysin mukaan nanoteknologian kouluopetus on hyvin vähäistä. Luonnontieteellisen osaamisen kehittymisen ja laajentumisen kannalta nanoteknologiaa voitaisiin integroida osaksi nykyistä kouluopetusta. Nanoteknologia soveltuisi hyvin tähän tarkoitukseen, koska alalta löytyy paljon kiinnostavia sovelluksia ja parhaillaan kehittyvän alan tutkiminen auttaisi ymmärtämään tieteen kehittymiseen ja yhteiskunnallisiin vaikutuksiin liittyviä tekijöitä. Luonnontieteellinen osaamisen mahdollistaa riittävät taidot yhteiskunnallisiin keskusteluihin osallistumiseen ja arkielämän valintoihin tarvittaviin päätöksiin. (Laherto, 2012)

Kokeellinen oppilastyö on tehokas ja kiinnostusta lisäävä opetusmenetelmä (Lavonen & Meisalo, 2010a). Nanoteknologian opetukseen tarkoitettuja suomenkielisiä kokeellisia opetusmateriaaleja on hyvin vähän saatavilla. Kokeellista opetusmenetelmää käytetään paljon ja opettajat kokevat tarvitsevänsä nanoteknologian liittyviä opetusmateriaaleja tulevaisuudessa (Laherto, 2012). Nanoteknologian opetuksen ydinajatuksia ovat: koko ja mittakaava, aineen rakenne, kvantti-ilmiöt, koosta riippuvat ominaisuudet, itsejärjestyvyys, välineet ja laitteistot, mallit ja simulaatiot sekä tieteen, teknologian ja yhteiskunnan väliset yhteydet (Stevens *et al.* 2009). STSE-opetustapa voi lisätä opetuksen kiinnostavuutta ja tarkoituksenmukaisuutta. Lisäksi sen sillä on tarkoitus kehittää tieteen, teknologian, yhteiskunnan ja ympäristön välisten yhteyksien ymmärtämistä (Lavonen & Meisalo, 2010b).

4 Kehittämisprosessi – nanoteknologian kokeelliset työt

Ongelma-analyysin pohjalta määritettiin nanoteknologian kokeellisille töille tavoitteet. Yleisenä tavoitteena on kehittää kouluopetukseen integroitavat ja nanoteknologian opetusta tukevat ja kiinnostavat kokeelliset työt. Teoreettisessa ongelma-analyysissä tutkittiin nanoteknologian opetukseen, kokeellisuuteen ja STSE-lähestymistapaan liittyviä tutkimuksia. Teoreettisen ongelma-analyysissä esitetyn tutkimustiedon pohjalta kehitetään nanoteknologian kokeellisia töitä. Tutkimustieto ohjaa kehittämistuotosten sisällön kuvaamalla, mitä nanoteknologiasta pitäisi opettaa, mitä asioita kokeellisessa lähestymistavassa tulisi huomioida, mitä STSE-opetustavalla halutaan opettaa ja mitkä ovat oppilaita kiinnostavia konteksteja. Tässä luvussa kuvataan kehitysprosessin kulku, jotta tutkimus olisi toistettavissa.

Lähtökohtaisena tavoitteena töiden suunnittelussa oli, että ne olisivat siirrettävissä koulumaailmaan. Siksi kokeelliset työt tulisi valita siten, ettei niiden tekemiseen tarvita erikoisia laitteita, kalliita materiaaleja tai kemikaaleja ja niitä voidaan tehdä turvallisesti kouluympäristössä. Alle on koottu lista kokeellisten töiden tavoitteista, jotka huomioitiin suunnittelussa. Lista on myös lisätty, kuinka tavoitteita pyritään opettamaan.

- Luonnontieteellinen osaaminen nanoteknologian kontekstissa (Laherto, 2012; Stevens *et al.* 2009).
 - Työohjeet kokonaisuudessaan ja STSE-opetukseen liittyvät kysymykset.
- Nanoteknologian kontekstin integroiminen kouluopetukseen (LOPS, 2003; Laherto, 2012; POPS, 2004; Stevens *et al.* 2009).
 - Kouluopetukseen sisältyvän kemian teorian tarkastelu tutkituissa ilmiöissä ja niihin liittyvät kysymykset sekä esitietotehtävät.
- Nanoteknologian opetukseen liittyvien keskeisten aiheiden huomioiminen (Stevens *et al.* 2009).
 - Töissä keskeisten sisältöjen opettaminen: koko ja mittakaava (nanoteknologian esittely); voimat ja vuorovaikutukset (vetysidos); aineen rakenne (titaanidioksidin kiderakenteet); STS-yhteydet (sovellusten käyttökohteiden esittely) ja kokoluokasta riippuvat ominaisuudet (titaanidioksidin eri kokoluokkiin liittyvien ominaisuuksien esittäminen).
- Nanoteknologian ja valittujen sovelluskohtaisten käsitteiden esille tuominen (O'Connor & Hayden, 2008).
 - Nanoteknologian esitleminen.

- Sovelluksiin liittyvän teorian esittäminen ja itse kokeellisen työn tekeminen siten, että töissä pyritään käyttämään ja hyödyntämään aidoista tutkimuksista nousevia asioita.
- Kokeelliseen työskentelyyn liittyvä asiat (Millar, 2004).
 - Työohjeiden sisältöjen ja tavoitteiden suunnittelu sekä kokonaiskuvaa vahvistavat kysymykset.
- Kiinnostavuus (Lavonen & Meisalo, 2010; O'Connor & Hayden, 2008).
 - Aihealueiden valinta ja kokeellisen opetustavan käyttö.

4.1 Kokeellisten töiden suunnittelu

Ongelma-analyysin perusteella nanoteknologian kokeellisia työohjeita tai vastaavaa materiaalia ei ole opettajilla saatavilla (ks. luku 3.3). Sopivia työohjeita ja materiaaleja kartoitettiin internetistä löytyvistä englanninkielisistä nanoteknologian opetukseen tarkoitetuista töistä sekä valmiiksi nanoteknologian kokeelliseen opetukseen tarkoitetun NanoSchoolBox:n materiaalien pohjalta. NanoSchoolBox on saatavissa ja sen sisältö on nähtävissä verkkosivulta <http://www.nanoschoolbox.de/en/nutzungsbedingungen/nanoschoolbox.html>. Valmiista materiaalisalkusta ei löytynyt suoraan sopivia töitä eikä niissä ollut oppimista tukevia kysymyksiä tai suoraan kouluopetukseen soveltuvia taustateorioita. Kehitetyt kokeelliset työt muokkautuivat jonkinlaiseksi yhdistelmäksi internetistä löydettyistä kokeellisista työohjeista, töihin liittyvästä teorialtutkimuksesta ja materiaalisalkun työohjeista.

Titaanidioksidin fotokatalyyysi-ilmiö valittiin kokeellisen työn kohteeksi, koska siihen liittyy laajasti hyödyntämismahdollisuuksia. Fotokatalyyysi voi olla ratkaisuna veden- ja ilmanpuhdistukseen liittyvissä ongelmissa ja sitä käytetään myös itsepuhdistuvissa materiaaleissa. Titaanidioksidin valinnalla työssä tutustutaan materiaaliin, jota käytetään paljon myös muissa tarkoituksissa. Näin opetukseen on helpompi yhdistää arkielämän esimerkkejä sekä esittää nano- ja makrokokoluokan ilmiöiden eroavaisuuksia. Titaanidioksidin käyttö aurinkokennoissa mahdollistaa myös energiantuotantonäkökulman. Työhön valittiin käytettäväksi sekä anataasi- että rutiilin kidemuotojen nanokokoluokan partikkeleista koostuvat jauheet. Käyttämällä molempien kidemuotojen jauheita työssä voi havaita titaanidioksidin kiderakenteen vaikuttavan tapahtuvaan fotokatalyyysiin. Työhön valittiin fotokatalyyysillä hajotettavaksi aineeksi metyleenisinisen laimennettu liuos, koska sitä käytetään oikeissakin tutkimuksissa mittaamaan fotokatalyyttistä aktiivisuutta.

Hydrofobisiin tekstiileihin liittyvän työn valintaan puolestaan vaikutti selkeästi havaittava yhteys oppilaiden arkielämään. Sen avulla voi myös tuoda esiin tieteen tavan kehittää materiaaleja matkimalla luonnon rakenteita. Hydrofobisiin pintoihin liittyvät arkielämän yhteydet ovat esimerkiksi vettähylkivät tekstiilit ja erilaiset pinnoitteet autoihin, lasipintoihin tai kosketusnäyttöihin. Näin kahdella erilaisella työllä pystytään tuomaan esiin teknologian vaikutuksia yhteiskunnalle merkittävistä näkökulmista ja vaikutuksia yksittäisen ihmisen jokapäiväiseen arkielämään.

Tässä tutkielmassa kehitettyjä kokeellisia töitä ei ole tehty täysin perinteistä oppilaslähtöistä menetelmää käyttäen, vaan STSE-yhteydet on pyritty tuomaan esille valmiiksi valittujen ongelmien (tekstiilien likaantuminen ja ympäristön epäpuhtaudet) ja erilaisten tehtävien avulla. Tehtävien tarkoitus on auttaa ymmärtämään yhteiskunnan, tieteen ja teknologian välisiä yhteyksiä sekä mahdollistaa luonnonteolliseen osaamiseen liittyvän päätöstenteon harjoittamisen.

4.2 Kokeellisten töiden testaaminen

Molempien kokeellisten töiden käytännön toteutuksen testaaminen tapahtui useammalla kerralla. Töiden osalta testaaminen tapahtui kvalitatiivisesti, joten hyvin tarkkoja mittauksia ei ole tehty, eikä niiden katsota olevan tarkoituksenmukaisia myöskään opetusmateriaaleissa. Lopulliset työohjeet, niissä käytetyt materiaalit, teoriaosa, kysymykset ja työmenetelmät on esitetty tarkemmin liitteinä:

- molempiin töihin tarkoitettu nanoteknologian esittelyosa (liite 4);
- Hydrofobinen tekstiili -työn teoriaosa ja työohje (liite 5), vastauslomake (liite 7) ja opettajan ohje ja vastauslomake (liite 8);
- Titaanidioksidin fotokatalyysi -työn teoriaosa ja työohje (liite 6), yläkoulun ja lukion vastauslomakkeet (liitteet 9 ja 10) ja niihin liittyvä opettajan ohje ja vastauslomake (liite 11).

Hydrofobinen tekstiili -työtä varten testattiin sopivia tekstiililaatuja, eri nesteiden toimivuutta sekä kaupallista tekstiilipinnoitetta (*Gtechniq I1 Smart Fabric* -tekstiilisuoja) ja nanoteknologian kokeellisia töitä varten tuotetun *NanoSchoolboxin* tekstiilipinnoitetta. Kaupallisen tekstiilisuojan mainostetaan olevan nanopinnoite, joka sisältää zirkoniumtetrabutanolaaattia ($C_{16}H_{36}O_4Zr$). Se on helposti kuluttajien ostettavissa esimerkiksi valmistajan internetsivuilta. Tuote otettiin kokeiluun mukaan, jotta selviäisi

soveltuvatko kaupalliset kuluttajapinnoitteet työn tekemiseen. *NanoSchoolboxin* tekstiilipinnoitteen kerrotaan muodostavan vain muutaman nanometrin paksuisen ja läpinäkyvän kalvon tekstiilikuidun pinnoille. Sen toiminta perustuu fluorinoituihin polymeereihin ja työhön liittyvä tekstiililiuos on tilattavissa valmistajan internetkaupasta osoitteesta: (<http://www.nanoschoolbox.de/en/nutzungsbedingungen/nanoschoolkit-1/nanoschoolkit-1.html>). Molempien tekstiilipinnoitteiden todettiin tekevän tekstiileistä nesteitä hylkiviä ja selvästi hydrofobisia, joten ne soveltuivat hyvin käytettäväksi kokeellisessa työssä. Kaupallisen pinnoitteen veden kontaktikulma oli pienempi ja kallistuskulma suurempi kuin materiaalisalkun tekstiilipinnoitteella. Kumpikin pinnoite hylki huonosti ruokaöljyä jättäen öljyjäämiä tekstiilille öljypisaraa liikuttaessa.

Pinnoitettavina materiaaleina testattiin tavallista ja mikrokuituista polyesteripohjaista tekstiiliä sekä puuvillapohjaista tekstiiliä. Polyesteripohjaisen tekstiilin nesteiden hylkimisominaisuudet todettiin paremmiksi, erityisesti mikrokuituinen tekstiili soveltuu työhön. Puuvillapohjaisessa tekstiilissä näkyi selkeämmin pinnoittamattoman osan kastuminen. Puhdistusominaisuutta testattiin hienonnetulla taululiitupölyllä ja rouhitulla mustapippurijauheella, joista jälkimmäinen osoittautui työhön paremmin soveltuvaksi. Mikrokuituiselta liinalta pippurirouheet poistuivat erityisen hyvin ja kallistuskulmamittauksissa se toimi parhaiten, koska nestepisarat eivät tarttuneet tasaisempaan pintaan helposti kiinni.

Titaanidioksidin fotokatalyysi -työtä varten pyrittiin ensisijaisesti etsimään sopivaa työtapaa, jolla fotokatalyysillä hajotettava aine lisätään titaanidioksidijauheisiin. Parhaiten todettiin soveltuvan metyleenisinisen indikaattoriliuoksen laimentaminen ensin veteen ja tekemällä laimennetusta liuoksesta ja jauheesta paksua maalia muistuttava suspensio. Laimentamalla metyleenisinisen liuosta pystyy vaikuttamaan fotokatalyysissä kuluvaan aikaan. Laimentamattomalla indikaattoriliuoksella tai mureksidijauheella tehtyjen testien perusteella hajotettavaa ainetta tulee helposti liikaa eikä fotokatalyysi tapahdu riittävän nopeasti. Työtä varten testattiin myös metyleenisinisen liuoksen suihkuttamista veden avulla tehdyn suspension päälle, mutta menetelmää ei nähty työhön soveltuvaksi.

Fotokatalyysin toimintaa testattiin myös asettamalla laimennetun metyleenisinisen liuoksen avulla valmistetut suspensiot ikkunalaudalle aurinkoisena päivänä. Myös tämän ilman UV-lamppua tapahtuvan fotokatalyysin todettiin toimivan ainakin sopivalla säällä, joskin UV-säteilytystä hitaammin. Työssä käytettiin *NanoSchoolboxiin* sisältyviä rutiilin ja

anataasin jauhemuotoja. Materiaalin toimittajalta saatujen tietojen mukaan anataasin nanonopartikkelit olisivat 8-15 nm kokoluokkaa ja rutiilin 30-40 nm. Titaanidioksidin jauheita on tilattavissa useasta lähteestä ja työssä käytetyt jauheet voi halutessaan tilata valmistajan internetkaupasta osoitteesta: (<http://www.nanoschoolbox.de/en/nutzungsbedingungen/nanoschoolkit-1/nanoschoolkit-4.html>). Työssä säteilylähteenä käytettiin helposti kaupasta saatavaa 15W UV-lamppua, joka säteilee 315–380 nm välisellä aallonpituusalueella. Säteillettävät näytteet asetettiin noin 10 cm etäisyydelle lampusta ja säteilyn tehostamisen ja ympäristön suojaamiseksi näytteiden ja lampun ympärille asetettiin alumiinifoliopaperia.

4.3 Kokeellisten töiden julkaisu

Koko Pro gradu -tutkielma julkaistaan digitaalisessa muodossa Helsingin yliopiston opinnäytetietokannassa E-thesis -sivustolla ja kirjallisessa muodossa, joka arkistoidaan Kumpulan kampuskirjastoon. Molemmat versiot ovat vapaasti kaikkien saatavissa ja luettavissa. Lisäksi kehitetyt kokeelliset työt on luvattu siirrettäväksi sellaisenaan tai sopivasti muokattuna Kemianluokka Gadoliniin opetuskäyttöön.

5 Kehittämistuotos – nanoteknologian kokeelliset työt

Tässä luvussa kuvataan kehittämistuotoksina valmistuneet nanoteknologian kokeelliset työt: *Hydrofobinen tekstiili* ja *Titaanidioksidin fotokatalyysi*. Molemmista töistä on pyritty tekemään yläkouluun ja lukioon sopivat versiot. *Hydrofobinen tekstiili* -työ on samanlainen yläkouluun ja lukioon, mutta *Titaanidioksidin fotokatalyysi* -työn kysymyksissä on eroavaisuuksia kouluasteiden välillä. Töistä on myös opettajan versiot, jotka sisältävät työn kulkuun ja ohjaamiseen liittyviä huomioita sekä mallivastaukset työhön liittyviin kysymyksiin.

Molempien kokeellisten töiden opetustavoitteet jaetaan ilmiötä koskevaan kemiaan ja nanoteknologian keskeisiin ydinajatuksiin. Töiden nanoteknologian ydinajatuksiin liittyvänä oppimistavoitteena on oppia hahmottamaan nanokokoluokka ja -mittakaava sekä tutustua nanoteknologia käsitteeseen.

Lisäksi *Hydrofobinen tekstiili* -työn oppimistavoitteena on oppia ymmärtämään nanomittakaavan rakenteiden vaikutus makromittakaavan ominaisuuksiin. Oppimistavoite liittyy nanoteknologian ydinajatuksen voimat ja vuorovaikutukset. Työn yleisinä oppimistavoitteina on oppia hydrofobisuus ja hydrofiilisyyden käsitteet ja palauttaa mieleen veden avulla sidosten ominaisuuksia.

Titaanidioksidin fotokatalyysi -työn nanoteknologian ydinajatuksiin liittyvänä oppimistavoitteena on oppia ymmärtämään aineen rakenteeseen liittyvää hierarkiaa ja nanomittakaavan rakenteiden vaikutus makromittakaavan ominaisuuksiin. Työn yleisenä oppimistavoitteena on oppia fotokatalyytin toimintaperiaate, kerrata katalyytti käsite sekä hapettumiseen ja pelkistymiseen liittyvää teoriaa.

Kehitettyjen kokeellisten töiden arvioinnin voi toteuttaa haluamallaan tavalla. Esimerkiksi arvioimalla kokeellista työskentelyä, pohdintatehtäviin vastaamista tai ottaa töistä jotain aihealueeseen liittyvään kokeeseen.

5.1 Hydrofobinen tekstiili

Yläkoulun ja lukion kemianopetukseen tarkoitetut kokeellisen työn *Hydrofobinen tekstiili* työohjeet on tarkemmin liitteessä 5. Tässä luvussa kuvaillaan työn kulku ja esitetään yksi tapa työn tekemiseen.

Ennen kokeellista työskentelykertaa oppilaiden on tarkoitus vastata joko koulussa tai kotona etukäteistehtäviin. Kokeellinen työskentely on tarkoitettu tehtäväksi 3-4 oppilaan ryhmissä. Pienryhmätyöskentelyllä pyritään mahdollistamaan sosiaalinen vuorovaikutus ja vahvistamaan tieteellisten pohdintojen suullisia esittämistaitoja.

Hydrofobinen tekstiili -työ aloitetaan opettajan johdolla tapahtuvaan nanoteknologian yleisellä esityksellä. Siinä esitetään yleisellä tasolla nanoteknologia, sen määritelmä ja kokoon sekä mittakaavaan liittyviä visualisointeja. Seuraavaksi oppilaat voivat itse lukea hydrofobisuuteen liittyvän teorian ja aloittaa ryhmissä kokeellisen työskentelyn työohjeen mukaisesti. Työohjeessa esitettyihin kysymyksiin vastataan erillisellä vastauslomakkeella ja vastauksia täydennetään työn edetessä sitä mukaa, kun kysymyksiä esitetään ja varsinaisen kokeellisen työskentelyn päätyttyä.

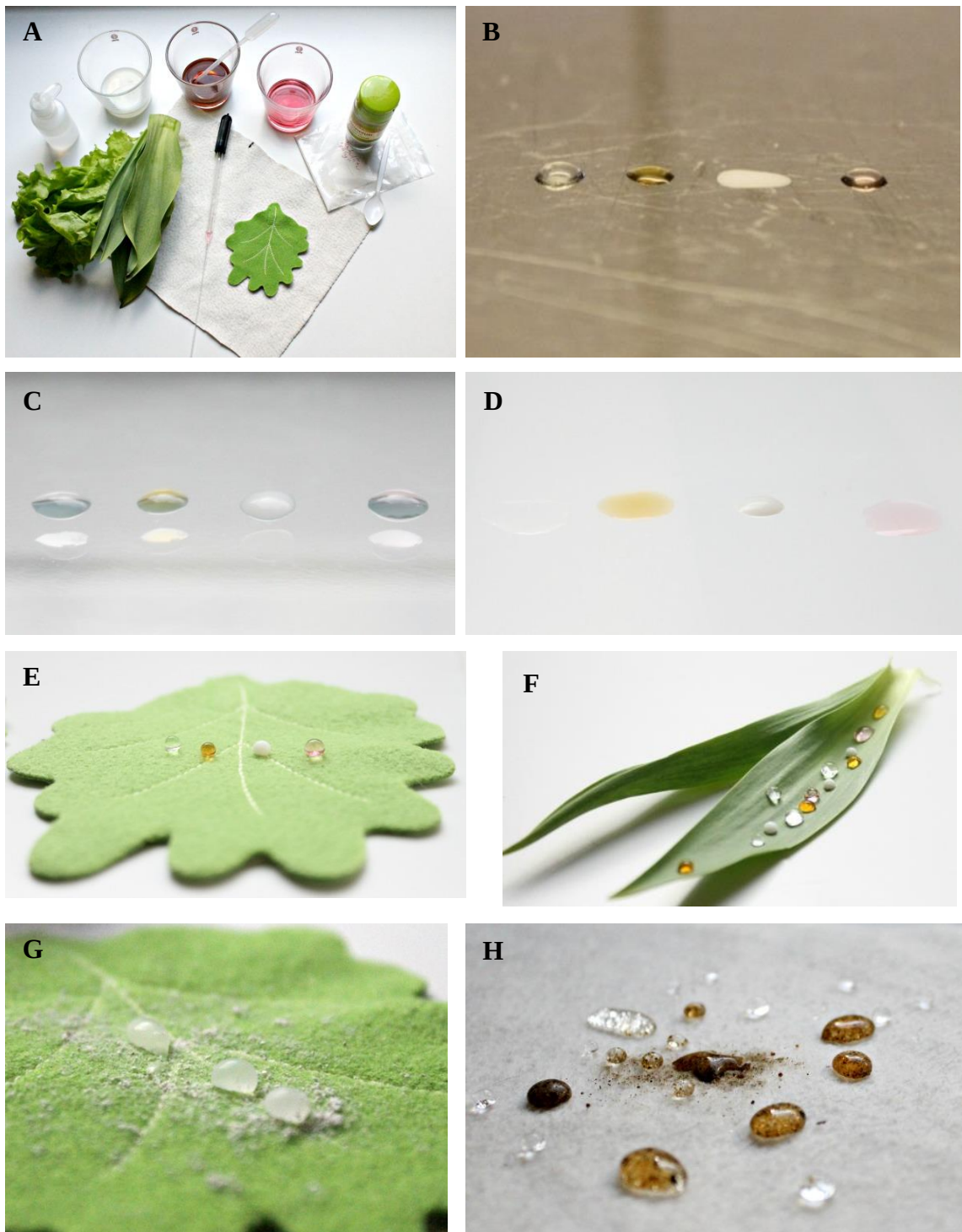
Hydrofobinen tekstiili -työn lähtökohta löytyy luonnosta, jossa useiden kasvien pinnat pysyvät puhtaina pelkän sadeveden avulla. Vastaavia ominaisuuksia halutaan myös moniin teollisesti tuotettuihin materiaaleihin. Kasvien rakenteen tutkimisen avulla on selvitetty, mitkä tekijät vaikuttavat hydrofobisuuteen ja lian hylkimiseen, ja tämän mukaan on kehitetty erilaisia keinoja valmistaa esimerkiksi helposti puhdistettavia ja nesteitä hylkiviä hydrofobisia tekstiilejä.

Työhön tarvittavat välineet löytyvät kemian luokasta. Opettajan tarvitsee tuoda työtä varten tutkittavat nesteet, luonnonmateriaalit ja tekstiilinpalat muualta. Työssä tarvittava tekstiilinkäsittelyaine pitää hankkia erikseen ja käsitellä tutkittavat tekstiilit. Tekstiilien käsittelyn voi tietenkin tehdä myös oppilaat, mutta pitkien kuivumisaikojen vuoksi käsittely tulee tehdä ennen kokeellista työskentelykertaa. Työssä voi käyttää myös valmiiksi nanoteknologisesti käsiteltyä tekstiiliä, esimerkiksi kaupallista *nanotex*-tekstiiliä.

Kokeellisen työskentelyn pohjana on arkipäiväinen ongelma, tekstiileiden likaantuminen. Työn aluksi tutkitaan erilaisten nesteiden käyttäytymistä luonnon materiaaleilla, ympäriltä löytyvillä pinnoilla ja osittain hydrofobiseksi käsitellyllä tekstiilillä. Tässä vaiheessa oppilaat tutkivat nesteidenhylkimisominaisuuksia ja arvioivat veden kontaktikulmaa materiaalien pinnoilla, jonka mukaan eri materiaalit luokitellaan hydrofobisiin ja hydrofiilisiin (kuva 11 B-F).

Seuraavaksi tutkitaan pinnoitettua tekstiiliä tarkemmin ja selvitetään sen kallistuskulma sekä pyritään mallintamaan pinnan puhdistumista likahiukkasista (kuva 11 G ja H). Työn

lopuksi tekstiilin kastumisominaisuuksia voi vielä kokeilla vesihanan alla ja upottamalla kangas vesiastiaan. Kokeellisen työskentelyn päätyttyä keskitytään kysymysten avulla hydrofobisen ilmiön selittämiseen ja nanoteknologian tuotteiden vaikutukseen yleisemmin. Kun oppilaat ovat vastanneet ryhmissään kysymyksiin, käydään vastaukset vielä yhdessä läpi opettajan johdolla. Kokeellisen työskentelyn jälkeen opettaja voi halutessaan ohjeistaa oppilaat kotonaan tekemään jälkikäystehtävän, jossa etsitään omasta mielestä mielenkiintoisin nanoteknologian tuote tai sovellus.



Kuva 11. Hydrofobinen tekstiili -työssä käytettävät tarvikkeet (A); vesi-, kahvi-, maito- ja mehupisarat teräksisellä tiskipöydällä (B), lasilla (C), muovilla (D), hydrofobiseksi käsitellyllä mikrokuitutekstiilillä (E) ja tulppaanin lehdellä (F); lian hylkiminen hydrofobiseksi käsitellyllä tekstiilillä taululiitupölyn (G) ja pippurimurskan (H) avulla esitettynä.

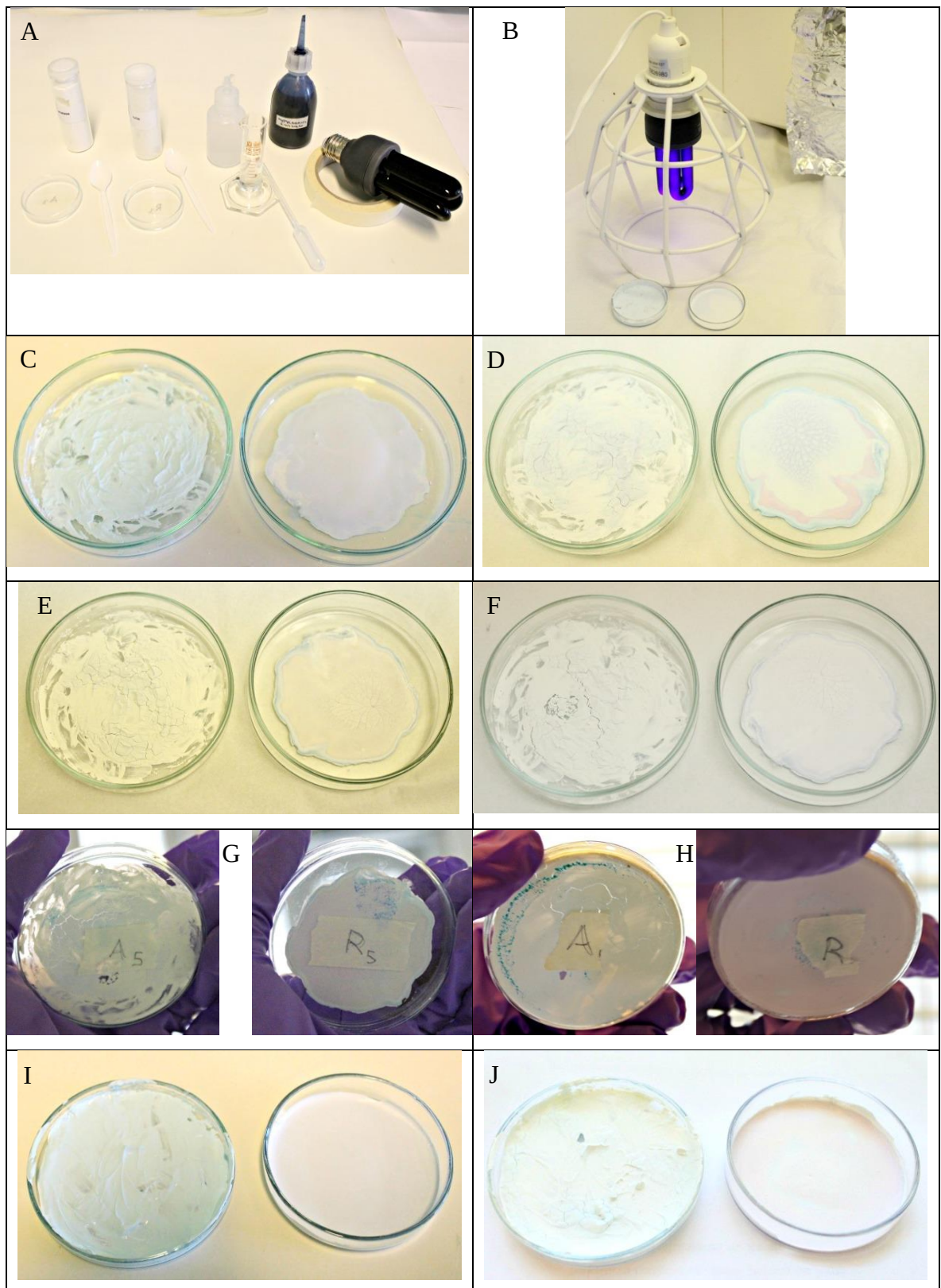
5.2 Titaanidioksidin fotokatalyysi

Yläkoulun ja lukion kemianopetukseen tarkoitetut kokeellisen työn *Titaanidioksidin fotokatalyysi* työohjeet on liitteessä 6. Tässä luvussa kuvaillaan työn kulku ja esitetään yksi tapa työn tekemiseen.

Ennen kokeellista työskentelykertaa oppilaat vastaavat aihealueeseen liittyviin etukäteistehtäviin. Titaanidioksidin fotokatalyysi -työn voi aloittaa joko yhteisesti nanoteknologian yleisellä esittelyllä tai suoraan työohjeessa olevalla titaanidioksidin ja fotokatalyyzin teoriaosalla. Jos oppilaat lukevat ensin teoriaosan, voi nanoteknologian yleisen osion esittää siinä vaiheessa, kun odotellaan fotokatalyyttisen hajoamisen etenemistä. Kokeellinen työ on tarkoitettu tehtäväksi 4-5 oppilaan ryhmissä. Pienryhmätyöskentelyllä pyritään mahdollistamaan sosiaalinen vuorovaikutus ja päätöksentekoon vaikuttavien perustelujen esittäminen.

Titaanidioksidin fotokatalyysi on UV-valon avulla tapahtuva hapetus-pelkistysreaktio, jonka avulla orgaaniset yhdisteet voidaan hajottaa hiilidioksidiksi, vedeksi ja mineraalihapoiksi. Fotokatalyysiä käytetään ilman ja veden puhdistuksessa, ja tässä työssä metyleenisininen kuvaa ympäristömyrkkyä, joka hajotetaan fotokatalyysillä. Kokeellista työskentelyä varten kemian luokasta löytyy tarvikkeet ja materiaalit lukuun ottamatta nanokokoisia titaanidioksidijauheita ja UV-lamppua.

Kokeellinen työskentely alkaa metyleenisinisen liuoksen valmistamisella, jonka opettaja voi halutessaan ohjeistaa niin, että eri ryhmillä on toisistaan poikkeavat liuokset. Tämä mahdollistaa lopussa vertailun ja siihen liittyvät pohdinnat. Kun liuos on tehty, valmistetaan titaanidioksidin nanokokoluokan anataasin ja rutiilin kiderakenteiden jauheista ja liuoksesta paksua maalia muistuttavat suspensiot. Laimennettua liuosta on tarkoitus käyttää täsmälleen sama määrä molempiin suspensioihin ja vähintään niin paljon, että suspension värin voi havaita poikkeavan puhtaan valkoisesta. Seuraavaksi suspensiot siirretään UV-valon läheisyyteen. Fotokatalyysi hajottaa vähitellen metyleenisinisen ja sininen väri muuttuu ja häviää lopulta kokonaan. Fotokatalyyzin etenemistä seurataan sopivin väliajoin havainnoimalla värien muutoksia (kuva 12).



Kuva 12. Titaanidioksidin fotokatalyysi -työn tarvikkeet (A) ja UV-säteilytyksen koejärjestely (B). Metyleenisinisen fotokatalyyttinen hajoaminen UV-säteilytyksellä anataasin (kuvissa oikealla) ja rutiilin (kuvissa vasemmalla) suspensioissa alussa 0 min, (C), 30 min, (D), 60 min, (E), lopussa 90 min, (F). Petrimaljojen pohjat UV-säteilytyksen (G) ja pelkän auringonvalon vaikutuksen (H) jälkeen. Antaasin ja rutiilin fotokatalyysi ikkunalaudalla alussa (I) ja lopussa 90 min (J).

UV-säteilytys voidaan lopettaa, kun fotokatalyysin vaikutuksesta värinmuutos on selkeästi havaittu tai toisen suspension väri on kokonaan valkoinen. Käytännössä värinmuutos on tavallisella UV-lampulla tai auringonvalon avulla melko hidas, joten värin täydellistä muuttumista valkoiseksi ei välttämättä ole mahdollista odottaa. Fotokatalyysin etenemisen seuraamisen ohessa voi vastata työohjeen muihin kysymyksiin. Opettaja voi halutessaan käyttää tämän ajan myös muulla tavoin, esimerkiksi katsomalla fotokatalyysiin liittyviä lyhyitä videoita, esittämällä metyleenisinisen hapettumiseen liittyvän demonstraation tai jatkamalla aihealueeseen liittyvää kouluopetusta.

Lopuksi tarkastellaan yhteisesti työn tuloksia, niihin vaikuttavia tekijöitä sekä tarkistetaan työohjeen tehtävien tulokset. Kokeellisen työskentelyn jälkeen oppilaat voi ohjeistaa tekemään kotonaan jälkikäistehtävän, jossa etsitään omasta mielestä mielenkiintoisin nanoteknologian tuote tai sovellus.

5.3 Kokeellisten töiden jatkokehittäminen

Kehittämistuotoksena syntyneitä kokeellisia töitä ei testattu opettajilla tai oppilasryhmillä, joten niiden vaikuttavuudesta oppimiseen ei ole tutkimustietoa. Kokeellisia töitä voi kuitenkin kehittää myös kirjallisuudesta löytyvän tiedon pohjalta. Esimerkiksi fotokatalyysiä käsittelevään työhön voisi lisätä osion, jossa titaanidioksidihutkalvolla päällystetyillä lasilla tutkittaisiin fotoindusoidun superhydrofiilisyyden tapahtumista. Tämän voi toteuttaa pudottamalla vesipisara valolta suojattuna säilytetyille pinnoitteelle heti säilytyksestä poistamisen jälkeen ja UV-säteilytyksen jälkeen. Pinnoitetun lasin avulla voisi myös yrittää hajottaa rasvaista sormenjälkeä UV- tai auringonvalolla säteilyttämällä. Titaanidioksidin antibakteerisuutta olisi mahdollista tutkia kasvattamalla esimerkiksi syljen bakteereita sopivalla alustalla, jolle on lisätty sopiva määrä fotokatalyyttisesti aktiivista titaanidioksidia.

Hydrofobisuustyöhön voi lisätä muitakin hydrofobisiksi käsiteltyjä kohteita (lasi tai kivi) ja käyttää myös muita nesteitä (rasva tai ketsuppi). Näin työn avulla voi saada laajemman näkökulman hydrofobisten pintojen toiminnasta ja käyttökohteista. Lisäämällä tai muuttamalla töiden kysymyksiä pystyisi myös tarkentamaan opetusta halutessaan johonkin muuhun tavoitteeseen. Mikäli opetusmateriaaleja olisi laajasti käytettävissä, kokeellisia töitä olisi mahdollista kehittää myös enemmän todellisen STSE-opetuksen mukaiseksi. Tämän voi toteuttaa esittelemällä ensin ilmiöön liittyvät ominaisuudet, joista oppilaat valitsisivat kiinnostavimman ja tutkisivat sitä.

5.4 Tulosten luotettavuus

Laadullisen tutkimuksen luotettavuustarkastelussa käytetään yleisesti Lincolnin ja Cuban neljään luokkaan perustuvaa luokittelua. Tarkasteltavat luokat ovat: uskottavuus, siirrettävyys, luotettavuus ja vahvistettavuus (Tuomi & Sarajarvi, 2011).

Tämän kehittämistutkimuksen uskottavuus perustuu kirjallisuuden avulla kehitettyihin kokeellisiin töihin. Uskottavuuden kannalta käytettyä kehittämismenetelmää voi pitää myös mallina uusien nanoteknologian opetukseen tarkoitettujen kokeellisten töiden valmistamiseen. Siirrettävyyden näkökulmasta kokeelliset työt on kehitetty integroitaviksi yleisesti opetuskäyttöön ja ne ovat luettavissa Kumpulan tiedekirjastossa sekä Helsingin yliopiston digitaalisessa E-thesis opinnäytetietokannassa. Luotettavuuden ja vahvistettavuuden kannalta kehittäminen oli syklittäistä ja kehittämisessä tehdyt päätökset esitettiin selkeästi. Tutkimuksen uskottavuutta ja luotettavuutta laskee se, ettei kehitettyjä kokeellisia töitä testattu oppilailla tai opettajilla (Design-Based Research Collective, 2003). Tämä opetusmateriaalien käytännön toiminnan tutkimattomuus aiheuttaa epäilyksen siitä, ovatko kokeelliset työt kiinnostavia ja opitaanko niiden avulla tavoiteltuja asioita.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä tutkimuksessa kehitettiin nanoteknologian kokeelliset työt kemian opetukseen. Opetusmateriaali on integroitavissa yläkoulun ja lukion kemian opetukseen. Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan kahteen tutkimuskysymykseen: miten nanoteknologiaa opetetaan kouluissa ja millainen on hyvä nanoteknologiaan liittyvä kokeellinen työ?

6.1 Nanoteknologian opettaminen kouluissa

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen saatiin vastaus kaksiosaisella ongelma-analyysillä, johon kuului teoreettinen ja empiirinen osa. Teoreettinen osa koostui aihealueen kirjallisuustutkimuksesta ja empiirisessä osassa tutkittiin aiheen esiintymistä oppikirjoissa.

Teoreettisesta ongelma-analyysistä selvisi opettajien kokevan, ettei heillä ole tarpeeksi materiaaleja nanoteknologian opettamiseen. Yksi toivottu opetusmateriaalimuoto oli kokeelliset työt, joita käytetään yleisesti paljon kemian opetuksessa. Sopivien opetusmateriaalien puuttuminen, aihealueeseen liittyvä aineenhallinnanpuute ja erityisesti se, ettei nanoteknologiaa mainita opetussuunnitelman perusteissa, ovat tärkeimmät syyt siihen, että nanoteknologiaa opetetaan kouluissa erittäin vähän tai korkeintaan ohimennen mainiten (Laherto, 2012).

Empiirinen osa oli tarveanalyysi, joka toteutettiin oppikirjojen sisällönanalyysinä. Siinä selvisi, että kemian oppikirjoissa on hyvin vähän nanoteknologian opetukseen tarkoitettua materiaalia. Näistä opetusmateriaaleista suurin osa oli sijoitettu lisätieto-osioihin. Yläkoulun kemian oppikirjoissa nanoteknologiaan liittyvät opetusmateriaalit koskivat vain hiilen eri olomuotoja. Myös lukion oppikirjoissa materiaali liittyi enimmäkseen hiilen eri olomuotoihin, mutta muutamista kirjoista löytyi myös nanoteknologiaa yleisemmin käsittelevää opetusmateriaalia. Koska opettajat käyttävät opetuksessaan paljon oppikirjoja, opettajilla on saatavilla vain hyvin vähän nanoteknologian opetukseen tarkoitettua materiaalia.

Miksi nanoteknologia tulisi liittää osaksi kouluopetusta? Nanoteknologia on kasvava ala, jota hyödynnetään paljon uusimmissa tieteellisissä tutkimuksissa. Se vaikuttaa oppilaiden arkielämään erilaisten kulutustuotteiden ja laajemmin vaikuttavien sovellusten välityksellä. Lisäksi nanoteknologia on esillä mediassa ja taloudellisen potentiaalin myötä myös poliittisissa päätöksissä. Sen integroimista opetukseen pidetään tärkeänä erityisesti oppilaiden luonnontieteellisen osaamisen ja alan tulevaisuuden osaajien tarpeen kannalta.

Opettajien mielestä nanoteknologian voisi integroida kouluopetukseen osaksi kemian, fysiikan ja biologian oppiaineita. Osa nanoteknologian opetuksen ydinajatuksista sisältyy jo nykyiseen kouluopetukseen. Opettajien mielestä yläkoulussa nanoteknologian opetus tulisi olla aihealuetta ja sovelluksia esittelevää ja vasta lukiossa perehdyttäisiin tarkemmin aihealueen teorian tietoon. (Laherto, 2012)

Mielestäni nanoteknologia sopii hyvin luonnontieteellisen osaamiseen kehittämiseen, koska ala on hyvin ajankohtainen ja sen kehitys on juuri nyt meneillään. Lisäksi aihealueesta löytyy runsaasti mielenkiintoisia esimerkkejä ja sovelluksia, joiden avulla on mahdollista lisätä kemian opetuksen kiinnostavuutta. Pelkkä sovellusten esittely saattaa lisätä kiinnostavuutta, mutta niihin pitäisi jo yläkoulussa mahdollisimman usein liittää oppilaille opetettuja teorioita ja tietoja vastaavat selitykset sovellusten toiminnasta. Sovelluksia käsitellessä tulisi esittää ilmiöiden submikroskooppisen tason lisäksi myös käytännön toiminta makrotasolla ja aitoja sovelluskohteita. Opetuksessa hyödynnettävien sovellusten valinta on erityisen tärkeää, jotta niiden avulla on mahdollista tukea kemian teorian opetusta.

Nanoteknologia on erittäin laaja aihealue ja siihen liittyvä kemia vaatii usein kattavaa ja yksityiskohtaista kemian osaamista. Siksi aihealueen käsittely ja opetukseen integrointi tulisi tapahtua vain opetustasolle soveltuvien esimerkkien avulla. Lisäksi opetuksessa pitäisi määritellä ainakin lyhyesti, mitä termillä nanoteknologia tarkoitetaan. Määrällisesti ei voida ajatella, että yläkoulun tai lukion opetuksessa pystyittäisiin tutustumaan laajemmin itse nanoteknologiaan tai sen sovelluksiin. Se ei ole tarkoituksaan, koska nanoteknologia on kuitenkin vain yksi kemian opetukseen kuuluva aihealue.

Kouluissa opetetaan atomi- ja molekyyli-tason ominaisuuksia ja esitellään valmiita materiaaleja, mutta usein oppilaat eivät ymmärrä niiden välistä yhteyttä. Koska nanoteknologiassa hyödynnetään hyvin yksityiskohtaisia tietoja uusien materiaalien kehittämisessä, se tarjoaa mahdollisuuden esittää, kuinka molekyyli-tason tietämystä hyödynnetään. Tällainen näkökulma auttaisi ymmärtämään paremmin sen, että perustietoja tarvitaan myös uusien materiaalien kehittämiseen ja niihin liittyvien ilmiöiden selittämiseen. Atomien ja molekyylien kokoluokka voi abstraktina asiana jäädä oppilaille epäselväksi. Kokoluokka kuuluu nanoteknologian opetuksen ydinajatuksiin ja siihen liittyvää opetusta tarvitaan, jotta on mahdollista ymmärtää, mitä nanoteknologialla tarkoitetaan.

6.2 Hyvä nanoteknologiaa käsittelevä kemian kokeellinen työ

Tutkimuksessa kehitettiin ongelma-analyysin pohjalta kokeelliset työt, joiden avulla voi opettaa nanoteknologiaa sopivan sovelluksen tai ilmiön kautta. Kehitetyt työt on pyritty valmistamaan siten, että ne vastaisivat toiseen tutkimuskysymykseen, millainen on hyvä nanoteknologiaa käsittelevä kokeellinen työ. Tutkimuskirjallisuuden pohjalta hyvälle nanoteknologian opetukseen tarkoitettulle kokeelliselle työlle löydettiin useita tekijöitä. Näitä ovat: integrointi kouluopetukseen, sovellusta tai ilmiötä koskevien nanoteknologian opetuksen ydinajatuksen huomioiminen, luonnontieteellisen osaamisen kehittäminen, kiinnostavuus sekä yleisesti oppimisen kannalta tärkeiden asioiden huomioiminen kokeellisessa työssä (Laherto, 2012; Millar, 2004; O'Connor & Hayden, 2008; Stevens *et al.* 2009). Kouluopetukseen integrointi tapahtuu hydrofobisuutta käsittelevässä työssä erilaisten sidosten teorian avulla ja fotokatalyyysiä käsittelevässä työssä hapettumiseen, pelkistymiseen ja aineen rakenteeseen liittyen. Nanoteknologian ydinajatuksen opettaminen tapahtuu yleisemmin nanoteknologiaa käsiteltäessä, töiden teoriaosion ja kysymysten avulla. Luonnontieteellisen osaamisen kehittymiseen pyritään töillä kokonaisuudessaan ja erityisesti päätöstentekoon tarkoitetuilla kysymyksillä. Kiinnostavuuden kannalta merkittävintä on yleisesti kiinnostavaksi koettu kokeellisen työtavan käyttö, työn ongelmapohjainen rakenne ja sopivien aihealueiden valinta. Oppimisen kannalta tärkeiden asioiden huomioiminen on pyritty toteuttamaan työn rakenteella ja oppimistavoitteiden valinnalla.

Kehittämistuotoksena valmistuneet kokeelliset työt on tarkoitettu käytettäväksi yläkoulun ja lukion kemian opetuksen tukena. Käytännön toiminnan voi toteuttaa tekemällä ennen kokeellista työtä ennakkotehtävät, esittelemällä kokeellisen opetuskerran aluksi ensin yleisemmin nanoteknologiaan liittyvän osion ja sitten työhön liittyvän teoriaosion. Varsinainen kokeellinen työskentely ja työhön liittyvät kysymykset sekä pohdinnat tehdään pienryhmissä. Kokeellisen työkerran jälkeen voi halutessaan vielä tehdä nanoteknologiaan liittyvän jälkikäystehtävän. Hydrofobisia tekstiilejä käsittelevä kokeellinen työ on mahdollista toteuttaa yhdellä kemian oppitunnilla, mutta fotokatalyyysiin liittyvän työn tekeminen ei ole mahdollista yhden oppitunnin aikana ilman tehokasta UV-lamppua. Fotokatalyyysiin liittyvän työn voi myös tehdä kahdessa osassa siten, että ensimmäisellä tunnilla aloitetaan työ ja annetaan reaktion tapahtua ikkunalaudalla auringonvalossa. Seuraavalla opetuskerralla keskitytään tarkastelemaan tuloksia ja pohdintakysymyksiä.

6.3 Tutkimuksen merkitys

Tämä kehittämistutkimus merkitys kemian opetukselle on opetukseen soveltuvien materiaalien tuottaminen. Lisäksi tutkimus voi toimia mallina muiden nanoteknologian opetusmateriaalien kehittämisessä. Tutkimukseen ei liittynyt materiaalin arviointia oppilaiden tai opettajien avulla. Tällainen tieto olisi ollut tärkeää erityisesti materiaalin toimivuuden, kehittämisen ja luotettavuuden kannalta. Kehitettyjen opetusmateriaalien arvioinnin osalta tarvittaisiin lisätutkimuksia. Niiden kohteena voisivat olla oppilaat, joiden oppimista ja kiinnostuneisuutta tutkittaisiin töiden pohjalta. Opetusmateriaalin osalta voisi tutkia, kuinka käyttökelpoisina opettajat näkevät kehitetyt materiaalit. Mielenkiintoista olisi myös tietää, miten hyvin tällainen materiaali soveltuu STS-yhteyksien opettamiseen tai luonnontieteellisen osaamisen kannalta tärkeiden päätöksentekotaitojen kehittämiseen.

Nanoteknologia on uusi ja mielenkiintoinen aihealue, joka on hyvin vähän esillä yläkoulun ja lukion kemian opetuksessa. Aihealueen opetuksen mahdollistaminen vaatii uusia opetusmateriaaleja ja opettajien täydennyskoulutusta tai ulkopuolisten oppimisympäristöjen hyödyntämistä (Laherto, 2012). Ulkopuolisia oppimisympäristöjä voivat olla esimerkiksi vierailut alan yrityksiin tai toiminnallisiin oppimisympäristöihin, kuten Kemianluokka Gadoliniin. Nanoteknologian hyödyntäminen osana kemian opetusta voisi lisätä opetuksen kiinnostavuutta, tarjota oppilaille mahdollisuuden ymmärtää uutta teknologiaa ja sen vaikutuksia arkielämään ja yhteiskuntaan.

Lähteet

- Abrahams, I. (2009). Does practical work really motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2335-2353.
- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Aksela, M. (2005). *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higher-order Thinking Through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Helsinki.
- Aksela, M. & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Edita Oy.
- Asare, N., Instanes, C., Sandberg, W. J., Refsnes, M., Schwarze, P., Kruszewski, M., & Brunborg, G. (2012). Cytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles in testicular cells. *Toxicology*, 291(1), 65-72.
- Asmatulu, R., Asmatulu, E., & Yourdkhani, A. (2009). Importance of nanosafety in engineering education. Paper presented at the *ASEE Midwest Conference, Lincoln, NB*, 1-8.
- Celia, E., Darmanin, T., Taffin de Givenchy, E., Amigoni, S., & Guittard, F. (2013). Recent advances in designing superhydrophobic surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 402(0), 1-18.
- Chao-Hua Xue and Wei Yin and Shun-Tian Jia, and Jian. (2011). UV-durable superhydrophobic textiles with UV-shielding properties by coating fibers with ZnO/SiO₂ core/shell particles. *Nanotechnology*, 22(41), 415603.
- Chen, X., & Mao, S. S. (2007). Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications, and applications. *Chemical Reviews*, 107(7), 2891-2959.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.

Cutcliffe, S. H., Pense, C. M., & Zvalaren, M. (2012). Framing the discussion: Nanotechnology and the social construction of technology – what STS scholars are saying. *Nanoethics*, 6(2), 81-99.

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.

Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121.

Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, 63(12), 515-582.

Ganesh, V. A., Raut, H. K., Nair, A. S., & Ramakrishna, S. (2011). A review on self-cleaning coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 21(41), 16304-16322.

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127.

Houas, A., Lachheb, H., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., & Herrmann, J. (2001). Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water. *Applied Catalysis B: Environmental*, 31(2), 145-157.

Huusko, J. (2014). Kandidaatin tutkielma, *Itsepuhdistuvat pinnoitteet*, Kemianopettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin Yliopisto. <http://blogs.helsinki.fi/kem-ope/tutkimus/julkaisut/kandidaatintutkielmat>, luettu 14.4.2014.

Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-704.

Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa*, 4, 54-68.

Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on interest in science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27-50.

Kärnä, P., Hakonen, R., & Kuusela, J. (2012). Luonnontieteellinen osaaminen perusopetuksen 9. luokalla 2011. *Koulutuksen Seurantaraaportit*, 2012:2, Helsinki: Opetushallitus.

Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., & Herrmann, J. (2002). Photocatalytic degradation of various types of dyes (alizarin S, crocein orange G, methyl red, congo red, methylene blue) in water by UV-irradiated titania. *Applied Catalysis B: Environmental*, 39(1), 75-90.

Laherto, A. (2012) *Nanoscience education for scientific literacy: Opportunities and challenges in secondary school and in out-of-school settings*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Helsinki.

Laherto, A. (2011). Incorporating nanoscale science and technology into secondary school curriculum: Views of nano-trained science teachers. *NorDiNa - Nordic Studies in Science Education*, 7(2), 126-139.

Lavonen, J., Byman, R., Uitto, A., Juuti, K., & Meisalo, V. (2010). Students' interest and experiences in physics and chemistry related themes: Reflections based on a ROSE-survey in Finland. *Themes in Science and Technology Education*, 1(1), pp. 7-36.

Lavonen, J. & Meisalo, V. (2010a). Opetuksen kokeellisuus. [verkkojulkaisu] http://www.edu.fi/perusopetus/fysiikka_ja_kemia/opetuksen_kokeellisuus, luettu 1.3.2014.

Lavonen, J. & Meisalo, V. (2010b). Kontekstuaaliset lähestymistavat. [verkkojulkaisu] http://www.edu.fi/perusopetus/fysiikka_ja_kemia/kiinnostus_fysiikkaa_ja_kemiaa_kohtaan/kontekstuaaliset_lahestymistavat, luettu 1.3.2014

LOPS (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.

Lämsä, M., & Juvonen, L. (2011). FinNano: Nanotechnology programme: Final report T2 tekes programme report. Helsinki: Tekes. [verkkojulkaisu] http://www.tekes.fi/Julkaisut/finnano_loppuraportti.pdf, luettu 15.3.2014

Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. Paper prepared for the meeting High school science laboratories: Role and vision. Washington, DC: National Academy of Sciences.

Nakajima, A., Hashimoto, K., & Watanabe, T. (2001). Recent studies on super-hydrophobic films. *Monatshefte Für Chemie/Chemical Monthly*, 132(1), 31-41.

NNI (2014). The National Nanotechnology Initiative. *Strategic plan 2014*. [verkkojulkaisu]

http://nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2014_nni_strategic_plan.pdf,
luettu 20.3.2014.

O'Connor, C. & Hayden, H. (2008). Contextualising nanotechnology in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(1), 35-42.

OECD. (2014). *Considerations in Moving toward a Statistical Framework for Nanotechnology: Findings from a Working Party on Nanotechnology Pilot Survey of Business Activity in Nanotechnology*. [verkkojulkaisu]
<http://www.oecd.org/sti/nano/reports.htm>, luettu 28.3.2014.

Ozin, G. A., & Arsenault, A. C. (2005). *Nanochemistry : A chemical approach to nanomaterials*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626.

Pernaa, J. (2013). *Kehittämistutkimus opetuslalla*. Jyväskylä: PS-Kustannus.

Popov, A., Priezzhev, A., Lademann, J., & Myllylä, R. (2005). TiO₂ nanoparticles as an effective UV-B radiation skin-protective compound in sunscreens. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(15), 2564.

POPS (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

Pore, V. (2010). *Atomic layer deposition and photocatalytic properties of titanium dioxide thin films*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Helsinki.

Ramsden, J. (2011). *Nanotechnology: An introduction*. Norwich, N.Y: William Andrew.

Raivio, T., Pessala, P., Aho, J., Pursula, T., Pathan, A., Teräs, J. & Hämeri, K. (2010). *From spearheads to hunting: Evaluation of nano programmes in Finland*. Helsinki: Tekes programme report.

- Savolainen, K. (2013). *Nanosafety in Europe 2015-2025: Towards safe and sustainable nanomaterials and nanotechnology innovations*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Sawhney, A., Condon, B., Singh, K., Pang, S., Li, G., & Hui, D. (2008). Modern applications of nanotechnology in textiles. *Textile Research Journal*, 78(8), 731-739.
- Shi, H., Magaye, R., Castranova, V., & Zhao, J. (2013). Titanium dioxide nanoparticles: A review of current toxicological data. *Part Fibre Toxicol*, 10, 15.
- Singh, N., Manshian, B., Jenkins, G. J., Griffiths, S. M., Williams, P. M., Maffei, T. G., Doak, S. H. (2009). NanoGenotoxicology: The DNA damaging potential of engineered nanomaterials. *Biomaterials*, 30(23), 3891-3914.
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (cop. 2009). *The big ideas of nanoscale science & engineering: A guidebook for secondary teachers*. Arlington: NSTA Press.
- Sund, J. (2014). *Proteomic characterization of biological effects induced by engineered nanomaterials*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Helsinki.
- Suomen Akatemia. (2011). *Nanovisio 2020*. [verkkajulkaisu]
http://www.aka.fi/fi/A/Suomen-Akatemia/Julkaisut_/Julkaisusarjan-julkaisut/,
 luettu 20.3.2014.
- Tong, H., Ouyang, S., Bi, Y., Umezawa, N., Oshikiri, M., & Ye, J. (2012). Nanophotocatalytic materials: Possibilities and challenges. *Advanced Materials*, 24(2), 229-251.
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2011). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*, (8 painos.), Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Wang, F. & Hannafin, M.J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research & Development*, 53(4), 5-23.
- Wang, L., Zhang, X., Li, B., Sun, P., Yang, J., Xu, H., & Liu, Y. (2011). Superhydrophobic and ultraviolet-blocking cotton textiles. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(4), 1277-1281.

- Vishwakarma, V., Samal, S. S., & Manoharan, N. (2010). Safety and risk associated with nanoparticles-a review. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 9, 455.
- Xu, N., Shi, Z., Fan, Y., Dong, J., Shi, J., & Hu, M. Z. (1999). Effects of particle size of TiO₂ on photocatalytic degradation of methylene blue in aqueous suspensions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38(2), 373-379.
- Yager, R. E. (1991). The centrality of practical work in the science/technology/society movement. *Practical Science*, 21-30.
- Yao, X., Song, Y., & Jiang, L. (2011). Applications of bio-inspired special wettable surfaces. *Advanced Materials*, 23(6), 719-734.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377.
- Zimmermann, J., Reifler, F. A., Fortunato, G., Gerhardt, L., & Seeger, S. (2008). A simple, One-Step approach to durable and robust superhydrophobic textiles. *Advanced Functional Materials*, 18(22), 3662-3669.

Liitteet

Liite 1: Tutkitut oppikirjat ja niitä vastaavat lyhenteet. Kirjat on jaettu kouluasteen ja nanoteknologian opetukseen tarkoitetun kemian sisältymisen mukaan.

Oppikirjat, jotka sisälsivät nanoteknologian kemiaa:

Yläkoulu:

A: Kangaskorte, A., Lavonen, J., Penttilä, A., Pikkarainen, O., Saari, H., Sirviö, J. Viiri, J. (2010). *Fyke. 7-9, kemia*. Helsinki: WSOYpro.

B: Ikonen, M., Tuomisto, M., Termonen, M., & Perkkalainen, P. (2009). *Ilmiö: Kemian oppikirja 7-9*. Helsinki: Tammi.

C: Havonen, T., Karpin, T., Keinonen, T., & Muurinen, M. (2009). *Hehku: Kemia. 7-9*. Helsingissä: Otava.

D: Aspholm, S. (2004). *Aine ja energia: kemian tietokirja* (10. uud. p. ed.). Helsinki: WSOY.

E3: Happonen, J. (2012). *Avain: Kemia 3* (1. p. ed.). Helsingissä: Otava.

Lukio:

F2: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., & Vaskuri, J. (2005). *Mooli: Lukion kemia. 2, kemian mikromailma* (2. - 10. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

G2: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2012). *Reaktio: Lukion kemia. 2, kemian mikromailma* (1. p. ed.). Helsinki: Sanoma Pro.

H2: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. (2005). *Neon 2 – Kemian mikromailma*. Helsinki: Edita.

H3: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. (2006). *Neon 3 – Reaktiot ja energia*. Helsinki: Edita.

H4: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. (2006). *Neon 4 – Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Edita.

I2: Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. (2005). *Kemisti 2 – Kemian mikromailma*. Helsinki: WSOY.

I4: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. (2006). *Kemisti 4 – Metallit ja metriaalit*. Helsinki: WSOY.

Liite 1 jatkuu.

Oppikirjat, jotka eivät sisältäneet nanoteknologian kemiaa:

Yläkoulu

E1: Happonen, J. (2012). *Avain: Kemia. 1*, (1.-2. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

E2: Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H., Nyrhinen, K., & Saarinen, H. (2012). *Avain: Kemia. 2*, (1. p. ed.). Helsingissä: Otava.

Lukio

F1: Lehtiniemi, K., & Turpeenoja, L. (2010). *Mooli. 1, ihmisen ja elinympäristön kemia* (5. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

F3: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., & Vaskuri, J. (2005). *Mooli: Lukion kemia. 3, reaktiot ja energia* (1.-7. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

F4: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., & Vaskuri, J. (2006). *Mooli: Lukion kemia. 4, metallit ja materiaalit* (1.-6. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

F5: Lehtiniemi, K., & Turpeenoja, L. (2007). *Mooli: Lukion kemia. 5, reaktiot ja tasapaino* (1.-6. painos 2012. ed.). Helsingissä: Otava.

G1: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2012). *Reaktio: Lukion kemia. 1, ihmisen ja elinympäristön kemia* (1.-5. p. ed.). Helsinki: Sanoma Pro.

G3: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. (2006). *Reaktio: Lukion kemia 3 – Reaktiot ja energia*. Helsinki: Tammi.

G4: Kaila, L. (2012). *Reaktio: Lukion kemia. 4, metallit ja materiaalit* (4., uud. p. 2012. ed.). Helsinki: Sanoma Pro.

G5: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. (2007). *Reaktio: Lukion kemia – 5, Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Tammi.

I1: Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. (2004). *Kemisti 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: WSOY.

H1: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. (2004). *Neon 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Edita.

H5: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. (2006). *Neon 5 – Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Edita.

I5: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. (2007). *Kemisti 5 – Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: WSOY.

I3: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. (2005). *Kemisti 3 – Reaktiot ja energia*. Helsinki: WSOY.

Liite 2. Tarveanalyysiin aineisto. Nanoteknologiaan liittyvä kemia tutkituissa oppikirjoissa.

Lähde	Esitetty tieto	Visualisointi	Asiayhteys
A	Lisätietosivulla esitellään hiilen eri muodoista grafeiini, nanonoputket ja fullereeni. Esitellään materiaalien muodot ja mainitaan grafeiinin ominaisuuksista ja nanoputkien sovelluskohteena käyttö jääkiekkomailan lujitteena. Hiilen nanosovelluksilla on käyttökohteita elektroniikka- ja lääketeollisuudessa.	Grafeiinin, nanoputken ja fullereenin rakenne kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla.	<i>Hiilen eri olomuodot</i> luvun lisätietosivulla.
B	Lisätietosivu, jossa esitellään fullereeni ja nanoputki. Esittelyssä kerrotaan niiden rakenteesta, ominaisuuksista, mainitaan niitä hyödyntäviä teollisuudenaloja ja käyttökohteista käytännössä.	Fullereenin ja nanoputken rakennetta kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla.	<i>Hiili ja raakaöljy</i> luvun lisätietosivulla.
C	Fullereeni esitellään yhdeksi hiilen eri esiintymismuodoksi. Todetaan rakenteen olevan pallomainen ja koostuvan vaihtelevasta määrästä hiiliatomeja. Kerrotaan fullereenin löytyneen noesta 1980-luvulla. Hiilen harvinaisemmat esiintymismuodot grafeiini ja nanoputki on esitelty pienessä lisätietolaatikossa. Esittelyssä kuvaillaan rakenne ja todetaan nanoputken läpimitan olevan muutamia nanometrejä.	Fullereenin rakennetta kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla. Nanoputken rakennetta kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla.	<i>Hiili</i> luvussa. <i>Hiili</i> luvun lisätieto-osiossa.
D	Esitellään yleisesti fullereeni ja kerrotaan, että niistä voidaan valmistaa onttoja putkia (halkaisijaltaan 4-30nm), jotka voi täyttää metalliatomeilla. Esitellään rakenteiden ominaisuudet ja kerrotaan käyttökohteiksi suprajohteet sekä lääke- ja elektroniikkateollisuus. Tarkemmin käytännön sovelluksia ei esitellä.	Fullereenin rakennetta kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla.	<i>Hiili</i> alaluvun ekstrasivulla.
E3	Esitellään grafeiini, hiilinanoputki ja fullereeni. Kaikista kuvaillaan rakenne, ominaisuuksia ja kerrotaan käytännön sovelluksia.	Fullereenin, hiilinanoputken ja grafeiinin rakennetta kuvataan pallotikkumallilla.	<i>Hiilellä on monta esiintymismuotoa.</i>

Liite 2 jatkuu.

Lukion kemian oppikirjat			
F2	Esitellään nanoteknologia kemian osa-alueeksi, jossa pyritään muuntelemaan atomitason ominaisuuksia halutunlaisiksi. Esimerkkeinä hiilen fullereeni ja nanoputki. Fullereenin sähkönjohtavuuden muokkaus esitetään tapahtuvan sisäänasennettujen metalliatomien avulla. Nanoputkien rakenteeseen kerrotaan mahdollisuudesta liittää biomolekyylejä. Tulevaisuuden sovelluksia ennustetaan nanoelektroniikan ja lääketieteen aloille. Pieni lisätietolaatikko, jossa esitetään lehti uutinen: <i>Nanotiedekeskus vihitään käyttöön Jyväskylässä</i>. Lehti uutinen sisältää tietoa tiedekeskuksesta ja siihen liittyvästä nanotutkimuksesta. Sisältää nanotieteen ja nanoteknologian määrittelyn, alhaalta ylös ja ylhäältä alas tuotantomenetelmät, esitellään yleisesti millä aloilla nanoteknologian sovelluksia hyödynnetään, esitellään mahdollisia tulevaisuuden sovelluksia informaatioteknologiaan ja lääketieteeseen, kerrotaan missä nanotieteiden tutkimusta harjoitetaan ja minkä alan asiantuntijoita nanotieteissä tarvitaan. Hiilen fullereeni ja nanoputkirakenteet ja niiden muodostuminen viisi- ja kuusikulmioista sekä löytöhistoria. Nanoputkien rakenteeseen liittyen kerrotaan orgaanisten molekyylien liittämismahdollisuudesta. Nanoputkille ennustetaan sovelluksia nanoelektroniikassa ja hiilikuitumateriaaleissa.	Fullereenin ja hiilinanoputken rakennetta kuvataan submikroskooppisella tasolla pallotikkumallilla. Ei sisällä visualisointeja Submikroskooppisen tason pallotikkumallin visualisointi rakenteesta ilman selitystä, mitä se esittää. Submikroskooppisen tason pallotikkumallirakenteet fullereenista ja nanoputkesta.	Kemian mikromaailma kurssin esittely osiossa luvussa <i>Atomin rakenteen tuntemisen hyödyntäminen</i>. Kemian mikromaailman kurssin esittely osiossa luvussa <i>Atomin rakenteen tuntemisen hyödyntäminen</i>. Lisätietoa sivu <i>Pieni on kaunis – nanotieteet ja nanoteknologia</i>. Kemialliset sidokset luvun alaluvussa Hiilen allotrooppiset muodot.
G2	Hiilen allotropiaan liittyen kerrotaan milloin fullereeni, nanoputki ja grafiini löydettiin. Fullereenien erilaisia rakenteita esitellään tarkemmin. Nanoputkien rakenteen kuvataan verkkorakenteisiksi grafiittiputkiksi, jonka päät sulkevat fullereenimolekyylin puolikkaat. Kerrotaan fullereenin ja nanoputkien eroavan rakenteeltaan muista hiilen olomuodoista. Rakenne-ero vaikuttaa liukoisuuteen niin, että timantti ja grafiitti eivät liukene nesteisiin, mutta fullereenit liukenevat sopivaan liuottimeen.	Submikroskooppisen tason pallotikkumalli kuvaa fullereenista ja nanoputkesta. Kuvatekstinä nanoputken halkaisija 1-3nanometriä ja pituus muutamasta nanometristä muutama mikrometriin.	<i>Vahvat sidokset</i> luvun alaluvussa <i>Allotropia</i>.

Liite 2 jatkuu.

H2	Nanotutkimus ja – teknologian esitetään toimivan nanometrikokoluokan hiukkasten ja laitteiden valmistuksessa sekä niihin liittyvien ilmiöiden tutkimisesta. Esitellään nanomateriaalien valmistuksen lähestymistavat alhaalta ylös (esim. nanoelektroniikka) ja ylhäältä alas (esim. nanokemia). Nanomateriaaleihin liittyen kerrotaan supramolekyylikemiasta sekä biologian ja biokemian alalta nanokoneet. Mainitaan nanomateriaaleja hyödynnettävän laajasti nanojauheina, joissa pinnan osuus on suurempi kuin tavallisessa kokoluokassa, mikä aiheuttaa materiaalin erilaiset ominaisuudet.	Submikroskooppisen tason kalottimallikuva supramolekyylistä. Makrotason kuvat, joista ensimmäinen esittää aurinkovoiteen käyttöä ja toinen valmistustiloja. Kuvateksti: nanotitaanidioksidia käytettävän aurinkovoiteissa.	Kurssin esittelyosion lisätietosivulla- <i>Nanomittakaavan tutkimus ja teknologia.</i>
H4	Esitellään fullereenit ja hiilinanoputket. Molemmista esitetään ominaisuuksia ja hiilinanoputkien sovelluksena mainitaan avaruusköysi ja -hissi, joilla avaruuteen (satelliitteihin) voisi kuljettaa tarvikkeita. <i>Nanokemiaa</i> – kokeellinen työ sisältää kolme osiota, joissa tutkitaan erityyppisiä hiilinanoputkia valmistamalla rakenteita paperista. Toista kaksi ensimmäistä perustuvat opettajalta saatuu hiilinanoputken kaavaan, josta lasketaan kuusirenkaiden lukumääriä, piirretään mallin mukaan siksak kuviota kaavapaperille, selvitetään onko hiilinanoputki johde vai puolijohde vertaamalla laskettuja lukumääriä valmiin taulukon tietoihin sekä leikataan kaavat irti paperista yhteen liimausta varten. Kolmannessa työssä piirretään ”kanaverkkopaperin” avulla haluttuja nanoputkirakenteita ja muodostetaan lopuksi kaava, jotka leikataan ja liimataan yhteen.	Submikroskooppisen tason suurennuskuva hiilinanoputkesta ja pallotikkumallikuva fullereenista Ei sisällä visualisointeja	<i>Hiili</i> luvun lisätietosivulla – <i>Hiilen uusia muotoja</i> <i>Epämetallit</i> luvun laboratoriotyöt osio.
I2	Kerrotaan fullereenin löytyminen 1980-luvulla ja muokkaus nanoputkiksi 1990-luvulla. Fullereenien tulevaisuuden käyttökohteiksi esitetään esim. voiteluaineet. Kuvailaan fullereenin ja nanoputken rakenteet ja yleisiä ominaisuuksia (vahvoja, joustavia, sähköä- ja lämpöäjohtavia). Mainitaan uusi tieteen suunta – nanotekniikka. Nanotekniikalle ennustetaan mielenkiintoisia sovelluksia, kuten molekyylitason tietokoneet.	Submikroskooppisen tason tunnelimikroskooppikuva nanoputkista ja tietokonegrafiikkakuva pallotikkumallin fullereenista.	Kovalenttiset sidosten yhteydessä luvussa <i>Hiilen rakenteet.</i>
I4	Kuvatekstissä kerrotaan dendrimeeripohjaisten polymeerien rakenteesta ja mahdollisuudesta käyttää lääkeaineiden kuljetukseen elimistössä. Lopuksi kerrotaan kuvassa olevan tietokonegrafiikalla piirretty nanoputki ja selitetään eri värien ja atomien (hiili, happi ja vety) vastaavuudet.	Submikroskooppisen tason pallotikkumallikuva nanoputkesta.	Polymeeriteollisuutta ja teknologiaa käsittelevässä luvussa.

Liite 3. Nanoteknologian keskeisiin ydinajatuksiin liittyvät oppimistavoitteet.

Ydinajatuks	Oppimistavoitteet
1. Koko ja mittakaava	- Fyysisen koon ymmärrys ja vertailu. - Kaikkea ei voi paljain silmin havaita (mikro-, nano-, atomi ja molekyyli maailma). - Koko voidaan esittää kvantitatiivisesti tai kvalitatiivisesti. - Kokoluokan muuttaminen voi vaikuttaa ilmiön toimintaan, ja käyttäytymiseen. - Pinnalla olevien partikkelien määrä tietyssä tilavuudessa (<i>surface-to-volume ratio</i>) on riippuvainen koosta ja muodosta.
2. Aineen rakenne	- Atomit ovat aineen perusrakenneosia ja niiden rakenne vaikuttaa siihen, kuinka ne reagoivat muodostaen suurempia kokonaisuuksia. - Rakenneyksiköiden sisäiset ominaisuudet määrittävät yhdistymisen muiden rakenneyksiköiden kanssa vaikuttaen syntyneen materiaalin ominaisuuksiin. - Useilla materiaaleilla on hierarkkinen rakenne, esimerkiksi savipartikkelit muodostavat yksittäisen tiiliskiven, joista voi tehdä seinän.
3. Voimat ja vuorovaikutukset	- Pienet kappaleet voivat vuorovaikuttaa monin tavoin, mutta vain sähköisiin ominaisuuksiin perustuen (kemialliset sidokset). - Aineille luonteenomaiset vuorovaikutustavat määrittävät kokonaisuuksien muodon ja käyttäytymisen. - Kaikki vuorovaikutukset koostuvat useista tekijöistä (sis. ympäristö, aineiden vuorovaikutukset), jotka aiheuttavat niiden muodostumisen ja vahvuuden. - Sähköisten vuorovaikutukset selittävät useita makroskooppisia ilmiöitä, jotka oppilaiden pitäisi pystyä selittämään. - Kokonaiskuva vuorovaikutuksista ja voimista, jotka kuvaavat systeemin energian muutokset ja ominaisuudet (ei yläkoulutasolle).
4. Kvantti-ilmiöt	- Kaikella aineella on sekä partikkeli, että aalto luonnetta. Nanokokoluokassa aaltoluonne kasvaa ja kvanttimekaniikkaa tarvitaan selittämään aineen käyttäytymistä. - Atomitason systeemeissä vain diskreetit energiamäärät voivat liikkua sisään ja ulos (pätee usein nanokokoluokassa). - On mahdotonta tietää täsmälleen, mitä atomi- ja nanokokoluokassa tapahtuu. - Elektronien kvanttimekaaniset ominaisuudet auttavat selittämään alkuaineiden järjestystä jaksollisessa järjestelmässä.

5. Koosta riippuvat ominaisuudet	- Pinnalla olevien atomien määrä kasvaa huomattavasti kappaleiden pientyessä. Näin pintaan liittyvien ominaisuuksien merkittävyys lisääntyy. - Aineen ominaisuudet (sähköiset, optiset, mekaaniset ja magneettiset) muuttuvat erityisesti kokoluokan lähestyessä atomikokoluokkaa. - Nanokokoluokan rakenteiden muoto voi aiheuttaa ainutlaatuisia ominaisuuksia.
6. Itsejärjestyvyys	- Itsejärjestämisprosessin kuvaileminen ja esimerkkien antaminen (DNA:n kaksoiskierre ja saippuan toiminta). - Useat tekijät (rakenne, koostumus, muoto, ominaisuudet ja ympäristö) vaikuttavat itsejärjestyvyyteen. - Itsejärjestäytyvyys voidaan kuvailla voimien ja energian avulla.
7. Välineet ja laitteistot	- Erityisiä välineitä tarvitaan mittaamaan ja tutkimaan nanokokoluokan rakenteita, koska niitä ei voi muuten havaita. - Tutkijat ja suunnittelijat ovat kehittäneet erityisiä työkaluja ja teknikoita nanokokoluokan rakenteiden hallitsemiseen, erottamiseen ja valmistamiseen. - Erityisten laitteiden ja välineiden kehittyminen on mahdollistanut nanokokoluokan rakenteiden tutkimisen. - Nanokokoluokan rakenteiden hallitsemiseen ja tutkimiseen käytettävät välineet perustuvat sähköisten vuorovaikutusten hyödyntämiseen.
8. Mallit ja simulaatiot	- Mallit ovat rajoittuneet tarkkuuden ja käytettävyyden suhteen juuri niille tarkoitettuihin kohteisiin. - Malleja käytetään kasvattamaan ymmärrystä, tekemään päätelmiä ja muodostamaan kysymyksiä rakenteista ja niiden käyttäytymisestä eri kokoluokissa.
9. Tiede, teknologia ja yhteiskunta	- Nanotiede ja –tekniikka kuvaavat juuri nyt etenevää ja vuorovaikutteista tieteellistä prosessia, joka kehittää teknologiaa. - Tutkijat, insinöörit, poliitikot, liikemiehet ja kansalaiset tekevät päätöksiä, jotka vaikuttavat tieteen ja teknologian kehittymiseen sekä teknologian käyttöön yhteiskunnassa. - Tieteen kehittyminen (jopa yksi löydös tai innovaatio) voi vaikuttaa merkittävästi itse tieteeseen ja sitä kautta yhteiskuntaan. - Nanorakenteita tulee arvioida ihmisille ja ympäristölle koituvien riskien ja hyötyjen kautta. Uusien materiaalien osalta todelliset vaikutukset voivat ilmetä vasta myöhemmin.

Liite 4. Nanoteknologian yleinen esittely kokeellisiin töihin.

Nanoteknologia

Mitä on nano?

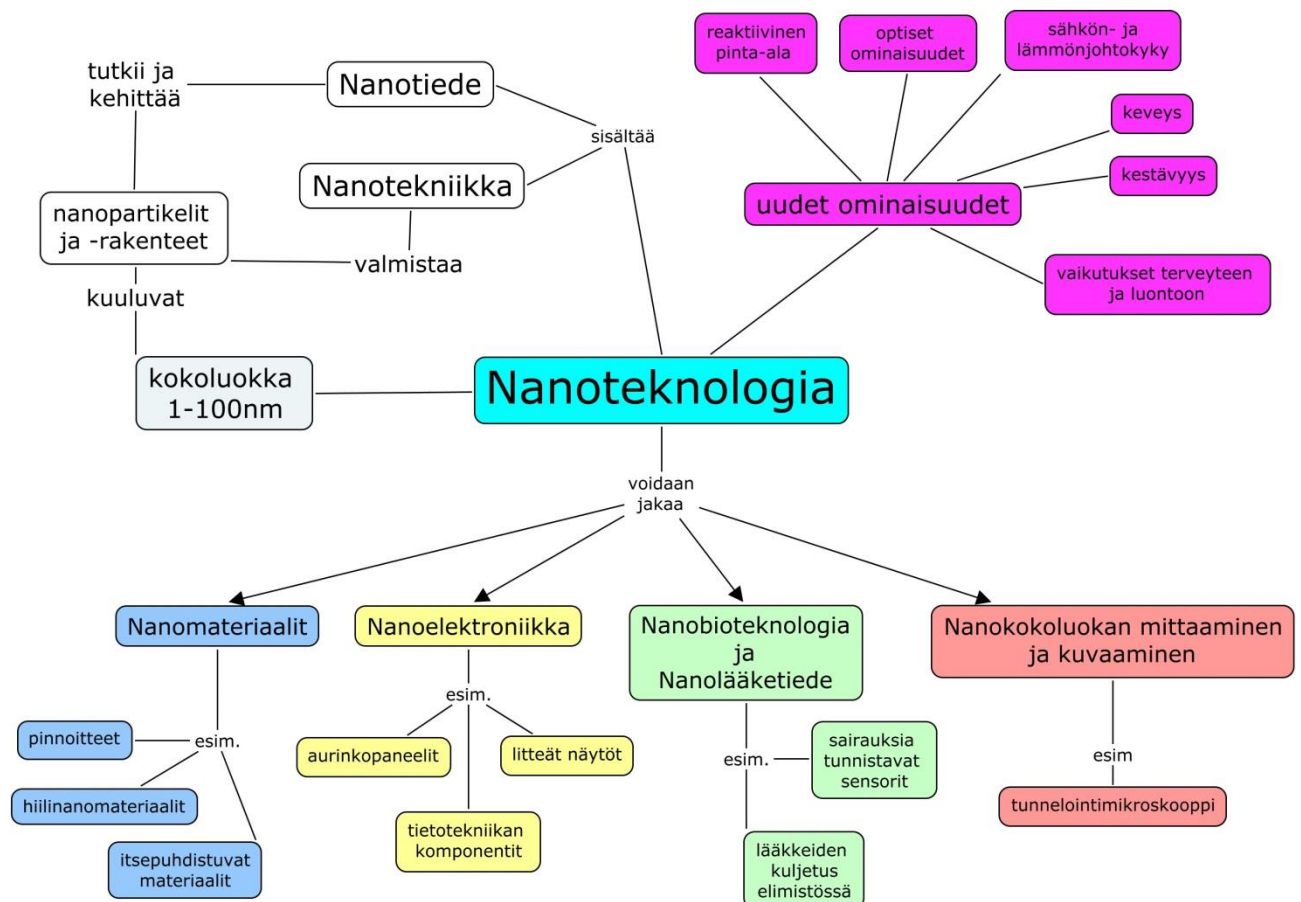
Nano on etuliite, kuten milli tai sentti. (nanometri, mikrometri, millimetri, senttimetri...)

Yksi nanometri (1 nm) on metrin miljardisosa eli $1 \cdot 10^{-9}$ m. Nano-nimitys tulee kreikankielisestä sanasta, joka tarkoittaa kääpiötä.

Mitä tarkoittaa nanoteknologia?

Nanoteknologia on 1-100 nanometrin kokoluokassa olevien materiaalien rakennesein liittävää ymmärrystä ja kontrollointia, joka mahdollistaa kokoluokalle ominaisten ilmiöiden avulla uudenlaiset sovellukset. Käsite nanoteknologia kattaa nanomateriaalien tutkimukseen ja kehittämiseen keskittyvän nanotieteen sekä valmistukseen tarvittavat tekniikat. Se sisältää myös nanomittakaavan kuvaamisen, mittaamisen ja mallintamisen.

Nanoteknologia toimii poikkitieteellisesti kemian, fysiikan, biologian, lääketieteen, tekniikan ja elektroniikan aloilla. Siltä odotetaan tulevaisuudessa paljon esimerkiksi terveyden parantamisen ja hyvinvoinnin kehittämisessä sekä ympäristön saastumiseen ja energian tuotantoon liittyvissä ongelmissa. Alla on havainnollistettu nanoteknologiaa käsittekartan muodossa.

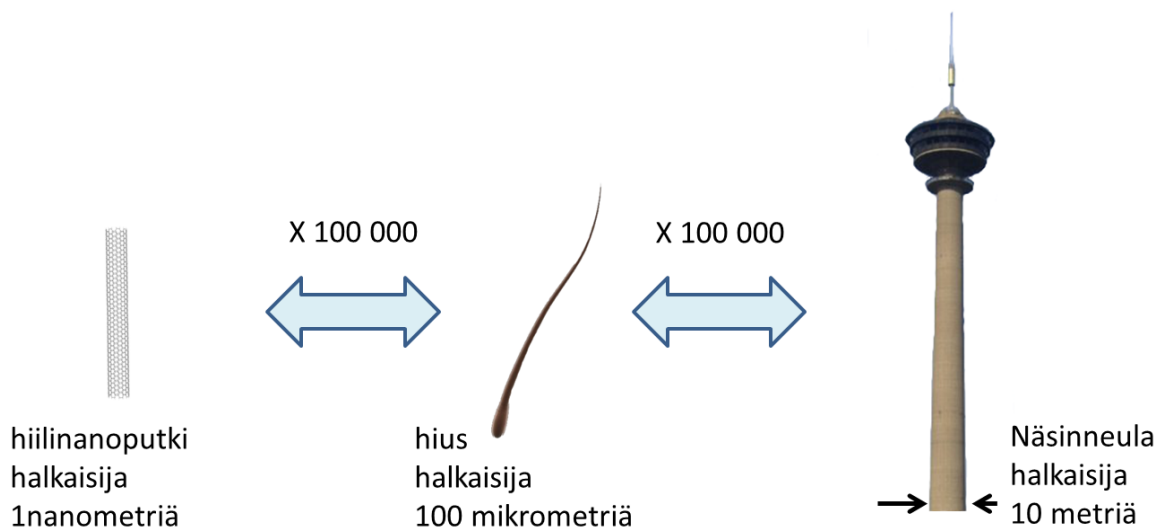
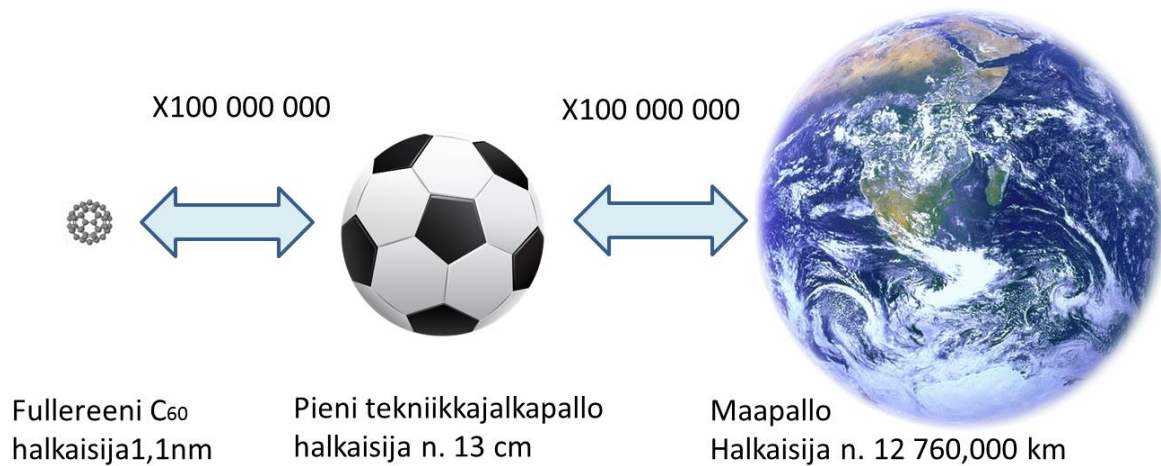


Liite 4 jatkuu.

Kuinka pieni on yksi nanometri?

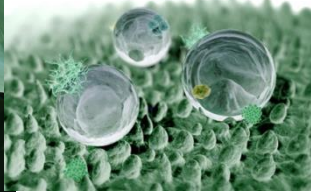
Yksittäinen atomi on kooltaan alle 1 nm ja ihmisen hius on noin 100 000 nm.

Alla olevan kuvan fullereeni on halkaisijaltaan noin 1 nanometrin kokoinen. Jos fullereenin koko kasvatettaisiin vastaamaan jalkapallon kokoa, kasvaisi jalkapallo vastaavasti suurentamalla maapallon kokoiseksi. Toinen kuva esittää vastaavilla suhteilla hiilinanoputkea, hiusta ja Tampereella sijaitsevaa näsinneulan näköalatornia.



Hydrofobinen tekstiili

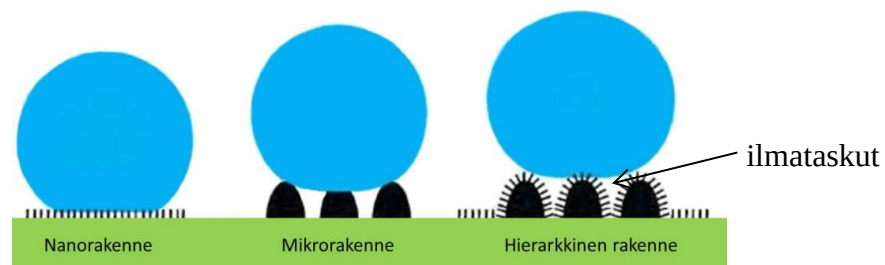
Monessa Aasian kulttuurissa lootuskukka on puhtauden symboli. Luonto on kehittänyt lootuksen lehdille ominaisuuden, jonka avulla ne pysyvät puhtaina. Ominaisuutta kutsutaan itsepuhdistuvuudeksi. Se johtuu lehtien kidemäisestä vahapinnasta, joka ei ole sileä, vaan se on täynnä nanokokoluokan ”karvoja” ja mikrokokoluokan ”tappeja”. Tällaisella pinnalla sadevesi muodostaa pallomaisia pisaroita, jotka pyörivät helposti pois lehdeltä huuhtoen mukanaan siihen kertyneen lian. Ilmiötä kutsutaan lootusefektiiksi.



Intian lootus ja sen pinnan tietokonegrafiikkakuva
(vasen kuva: William Thielicke/Wikimedia Commons)



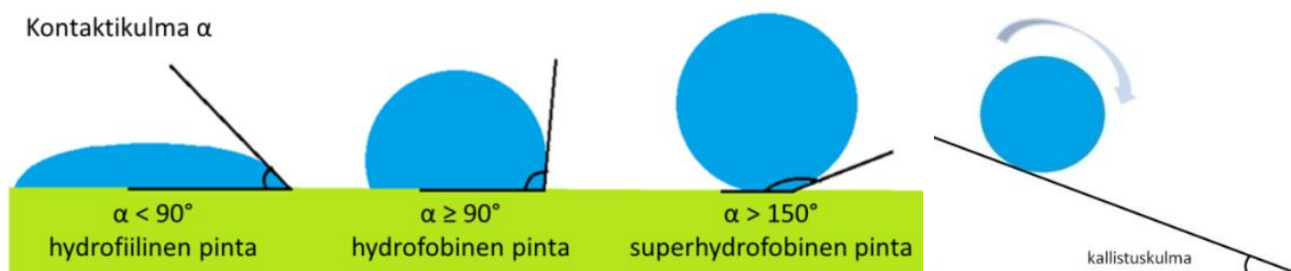
Miksi vesi sitten pisaroituu tällaiselle karhealle pinnalle? Pinnan epätasaisuuden vuoksi vesipisaran ja lehden väliin jää pieniä ilmataskuja, jolloin vesi koskettaa vain vähän itse lehteä. Koska veden ja ilman välinen vuorovaikutus on pienempi kuin kiinteän pinnan ja veden välinen, ilmataskut mahdollistavat veden pintajännityksen muodostumisen. Pintajännitys puolestaan aiheuttaa veden pinnalle kalvon ja vesipisaran pallomaisen muodon. Myös itse pintamateriaali vaikuttaa vesipisaran muodostumiseen. Pallomaisten pisaroiden muodostumisen kannalta pintamateriaalin pitää olla mahdollisimman paljon nesteitä hylkivää.



Ihmiset ovat halunneet lootuksen lehtiä vastaavat puhdistus- ja vedenhylkimisominaisuudet valmistamiinsa tuotteisiin. Lootusefektiä hyödyntäviä tuotteita kutsutaan superhydrofobisiksi. Tällaisia pinnoitteita voi valmistaa useille eri materiaaleille, kuten lasi-, metalli-, muovi-, kivi-, puu- tai tekstiilipinnoille. Superhydrofobiset materiaalit hylkivät nestemäistä likaa eikä kiinteäkään lika tartu niihin tiukasti. Siksi ne pysyvät pidempään puhtaampina ja puhdistuvat helpommin. Tästä syystä niitä voi käyttää erilaisissa tuotteissa, kuten vettä ja likaa hylkivissä tekstiileissä, korroosionestossa elektroniikkalaitteissa, heijastamattomissa ja sormenjälkiä hylkivissä kosketusnäytöissä tai kameran linseissä ja helpommin puhdistuvissa ikkunoissa tai maalipinnoissa.

Liite 5 jatkuu.

Hydrofobisuus tarkoittaa vettä hylkivää ja sen vastakohta on hydrofiilisyyys, joka tarkoittaa vesihakuista. Hydrofobisella pinnalla veden ja pinnan välinen kulma on vähintään 90° ja hydrofiilisellä pinnalla alle 90° . Itsepuhdistuvalla superhydrofobisella pinnalla on suuri kontaktikulma (yli 150°) ja alhainen kallistuskulma (alle 10°). Kallistuskulma on pinnan ja vaakatason välinen kulma, jolla pallomainen pisara lähtee pyörimään. Alla olevissa kuvissa on esitetty erilaisia kontaktikulmia sekä kallistuskulma.



Tässä työssä tutkitaan, miten nesteet käyttäytyvät erilaisilla materiaaleilla ja kuinka nanokokoluokan rakenteen muuttuminen voi vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin. Vaatteiden likaantuminen voi olla ikävä ongelma erityisesti silloin, kun niitä ei pääse heti vaihtamaan puhtaisiin. Myös vaikeasti pestävillä tekstiilillä, kuten sohvilla, voi juomien kaatuminen tuottaa ylimääräistä harmia. Tutkijat ovat kehittäneet superhydrofobisia tekstiilejä valmistamalla tekstiilikuidut täyteen nanokokoluokan ”karvoja”. Selvitä työn avulla haluaisitko itsellesi superhydrofobiset vaatteet tai jonkin muun itsepuhdistuvan tuotteen.

TARVIKKEET JA LIUOKSET:

- nesteet: vesi, mehu, kahvi ja maito
- osittain hydrofobiseksi käsitelty tekstiilinpala
- kukan- ja salaatinlehti
- pipetti tai tippapullo
- 4 pientä dekanterilasia nesteille
- hienojakoista pölyä (murskattu pippurirouhe tai hienonnettu taululiituliitu)

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Hydrofobinen tekstiili on turvallinen käyttää. Sitä ei kannata hangata sormilla, jotta se ei menetä vedenhylkimiskykyään.

Laboratoriotakki, suojalasit ja -käsineet.

Kiinteät jätteet voi hävittää sekajätteenä ja liuokset voi kaataa viemäriin.

Liite 5 jatkuu.

TYÖOHJE

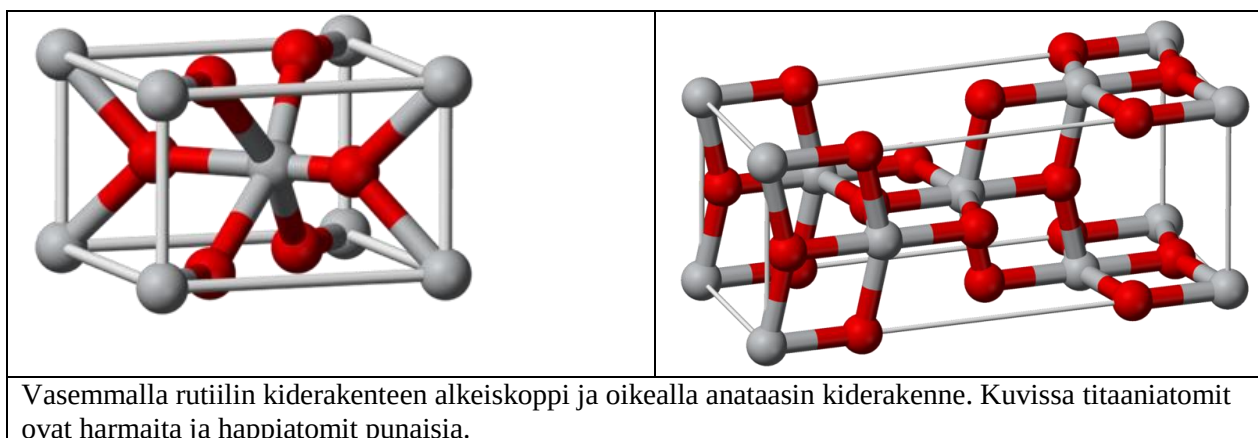
Täydennä työn edetessä esitettyihin kysymyksiin vastaukset vastauslomakkeelle.

1. Valitse työskentelytilasta kaksi tai kolme erilaista pintamateriaalia, jolta voit helposti puhdistaa käytettävät nestepisarat. Pintamateriaalit voivat olla esimerkiksi lasia, muovia tai tiskialtaan teräspinta. Täydennä käyttämäsi materiaalit vastauslomakkeen taulukkoon.
2. Tutki ensin nesteiden käyttäytymistä valitsemissasi pinnoilla, kasveilla ja hydrofobisella tekstiilillä. Pudota 1 pieni pisara jokaista nestettä kaikille pinnoille. Mitä nestepisaroille tapahtuu?
3. Tarkastele nestepisaroita sivusuunnasta. Mitkä pinnat ovat hydrofobisia ja mitkä hydrofiilisiä?
Arvioi pisan ja pinnan välinen kontaktikulma silmämääräisesti eri materiaaleilla ja täydennä tiedot taulukkoon. Piirrä tai ota puhelimella kuva nestepisarasta sivusuunnasta hydrofobisimmalla pinnalla.
4. Tutkitaan tarkemmin tekstiiliä. Lisää vesipisaroita tekstiilillä ja liikuttele niitä kallistelemalla tekstiiliä. Havaitsetko eroja (pisan muoto, liikkuminen tai tekstiilin kastuminen) pinnoittamattoman ja pinnoitetun tekstiilin välillä? Miten vesi käyttäytyy hydrofobisella pinnalla?
5. Selvitä, mikä on pinnoitetun tekstiilin kallistuskulma.
Aseta tekstiili tasaiselle pinnalle (esim. kirjalle), kallista pintaa hieman ja pudota vesipisara tekstiilille muutaman sentin etäisyydeltä. Muuta kulmaa ja selvitä, mikä on pienin kallistuskulma, jolla vesipisara pyörii tekstiililtä pois. Arvioi lopuksi kulman suuruus.
6. Ripottele hieman hienojakoista pölyä tekstiilille ja pudota sitten useita vesipisaroita pölyn päälle. Liikuttele pisaroita kallistelemalla kangasta. Mitä havaitset?
7. Koeta puhdistaa tekstiili pölystä aukaisemalla vesihana tiputtamaan vettä pisara kerrallaan ja pitämällä tekstiiliä hanan alla. Auttaako hydrofobinen käsittely puhdistumisessa? Kokeile lopuksi vielä upottaa tekstiili veteen. Onko kastumisessa eroa hydrofobiseksi käsitellyn ja käsittelemättömän tekstiilin välillä?

Titaanidioksidin fotokatalyyysi

Titaanidioksidi on yhdiste, jonka kemiallinen kaava on TiO_2 . Sitä käytetään yleisesti valkoisena väri- tai lisäaineena maaleissa, painoväreissä, makeisissa, lääketableteissa, ruuassa (E-koodi 171) ja kosmetiikassa. Luultavasti me kaikki olemme siis myös syöneet titaanidioksidia. Nanokokoluokassa eli alle 100 nm kokoisista hiukkasista koostuva titaanidioksidiä ei ole valkoista vaan läpinäkyvää ja tätä ominaisuutta hyödynnetään, kun sitä käytetään UV-suojana aurinkovoiteissa tai itsepuhdistuvien ikkunoiden pinnoitteissa.

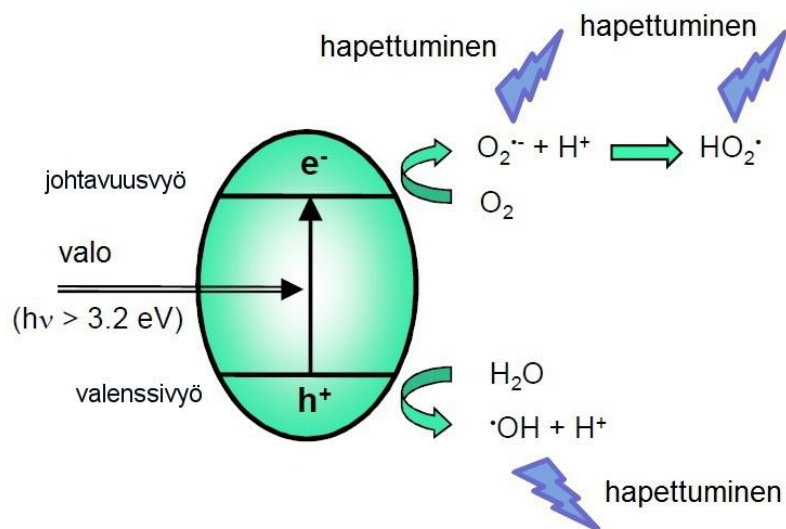
Titaanidioksidinanomateriaaleja käytetään myös monissa muissa sovelluskohteissa: antibakteeriset pinnoitteet, veden ja ilman puhdistus, elektroniikan komponentit, kaasusensorit ja aurinkokennot. Titaanidioksidin yleisimmin käytetyt kiderakenteet ovat anataasi ja rutiili. Kiderakenne kuvaa kiinteän kiteisen aineen atomien avaruudellista järjestäytymistä. Kiteinen titaanidioksidi rakentuu alla esitettyjen kuvien kaltaisista alkeiskopeista. Kuvitteellisesti kiteistä titaanidioksidia voisi verrata tiiliseinään. Vertauskuvassa yhtä tiiltä vastaa yksi alkeiskoppi, joka koostuu titaanidioksidimolekyyleistä. Yksi kokonaisen titaanidioksidikide puolestaan koostuu useista alkeiskopeista vähän samaan tapaan kuin kokonainen tiiliseinä tai -rakennus koostuu tiiliskivistä.



Titaanidioksidi on erityisen paljon käytetty fotokatalyytti. Fotokatalyyysi on valon vaikutuksesta tapahtuva kemiallinen hapettumis-pelkistymisreaktio, jossa valo aiheuttaa katalyytin avulla orgaanisten yhdisteiden hajoamisen hiilidioksidiksi ja vedeksi. Fotokatalyyysi muistuttaa paljon luonnon tärkeintä kemiallista reaktiota - fotosynteesiä.

Tarkemmin fotokatalyyysistä lukiolaisille. Katso alla oleva kuva.

Fotokatalyyysissä riittävän korkeaenerginen valonsäteily virittää fotokatalyytin ylimmältä elektroneja sisältävältä orbitaalilta (valenssivyö) elektroneja ensimmäiselle tyhjälle orbitaalille (johtavuusvyö), jolloin syntyy elektronin (e^-) ja sen poistumisessa syntyneen aukon (h^+) muodostama pari. Osa näistä pareista liittyy takaisin yhteen ja osa hajaantuu fotokatalyytin pinnalle. Siellä ne voivat reagoida suoraan pinnalla olevien yhdisteiden kanssa tai epäsuorasti muodostaen uusia yhdisteitä ilman hapesta (O_2), vedestä (H_2O) ja hydroksyyliyhdisteistä (OH). Epäsuorasti muodostuneita yhdisteitä ovat superoksidi ($\text{O}_2^{\cdot-}$), dihappermolekyyli ($^1\text{O}_2$), hydroksyyli- ja hydroperoksidi (H_2O_2). Nämä yhdisteet reagoivat erittäin helposti ja niiden avulla voidaan hajottaa käytännössä mikä tahansa orgaaninen yhdiste vedeksi, hiilidioksidiksi ja mineraalihapoiksi.



Fotokatalyyysin toimintaperiaate. Kuva: Viljami Pore väitöskirja 2010.

Titaanidioksidi on aina fotokatalyyttisesti aktiivista, mutta useissa sovelluksissa ja tuotteissa reaktion tapahtuminen on estetty passivoimalla pinnoitteella kiteiden pinta. Näin toimitaan, kun reaktiota ei haluta tapahtuvan. Esimerkiksi valkoiset maalit kellertyisivät ilman passivointia. Fotokatalyyysi on kuitenkin hyödyllinen reaktio, jonka avulla voi esimerkiksi puhdistaa vedestä ympäristömyrkkyjä ja ilmastasta haitallisia kaasuja tai tappaa bakteereja pelkän auringon säteilyn avulla. Siksi fotokatalyyysiä käytetään veden puhdistuksessa, sisäilmaa puhdistavien laitteiden suodattimissa sekä antibakteerisissa vaatteissa ja pinnoitteissa. Puhdas titaanidioksidi ei kuitenkaan pysty hyödyntämään auringonsäteilyä täysin, vaan ainoastaan UV-säteilyä. UV-säteilyn määrä on alle 10 % auringon säteilyenergiasta. Titaanidioksidin fotokatalyyysi ei ole tehokas sisätiloissa, koska tavallinen sisävalaistus ei tuota riittävästi UV-säteilyä.

Kiderakenne vaikuttaa aineen ominaisuuksiin, joten anatasiin ja rutiilin fotokatalyyysissä on eroja. Eri kiderakenteissa myös elektronien virittyminen tapahtuu hieman erilaisilla valon aallonpituuksilla. Anatasi vaatii vähintään 3,2 eV energiaa, mikä vastaa säteilyä n. 390 nm aallonpituusalueella ja vastaavasti rutiili tarvitsee 3,0 eV energiaa, joka vastaa n. 410 nm aallonpituutta. Fotokatalyyttisen toiminnan nopeutta ja tehokkuutta mitataan yleisesti tutkimuksissa hajottamalla metyleenisinistä väriainetta tai steariinihappoa. Metyleenisininen on tekstiiliteollisuuden käyttämä väriaine, jonka päästäminen luonnonvesiin aiheuttaa ympäristöongelmia sen haitallisuuden ja värjäämisen vuoksi. Tutki työn avulla kumpaa titaanidioksidin kidemuotoa sinä käyttäisit veden puhdistamiseen väriaineesta.

Liite 6 jatkuu.

REAGENSIT JA TARVIKKEET

- titaanidioksidin nanojauheet (anataasi ja rutiili)
- metyleenisininen indikaattori
- vesi
- UV-lamppu ja foliopaperi
- mittalasi (10 ml)
- pipetti
- petrimaljat 2kpl
- lusikat 2kpl
- maalarinteippi

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, suojalasit ja -käsineet.

Käsittele metyleenisinistä varovaisesti, koska se värjää helposti vaatteet ja ihon.

Säilytä titaanidioksidijauheet suljetussa astiassa ja vältä pölyn aiheuttamista.

Älä katso suoraan UV-valon lähteeseen ilman suojalaseja.

TYÖOHJE

Täydennä työn edetessä havaintosi vastauslomakkeelle.

1. Merkitse maalarinteipin avulla petrimaljojen pohjaan eri kidemuodot ja jokin merkki oman näytteen tunnistamiseksi (esim. A /X.X ja R /X.X).
2. Valmista mittalasin avulla metyleenisinisestä laimennettu liuos opettajan ohjeistuksen mukaisesti.
3. Valmista petrimaljoihin suspensio molemmista titaanidioksidin kidemuodoista ja laimennetusta liuoksesta. Toimi näin: lisää molempia jauheita petrimaljoihin sama määrä (1 teelusikallinen). Lisää molempiin jauheisiin 15 pisaraa valmistamaasi liuosta (käytä molempiin jauheisiin täsmälleen samaa määrää).
4. Sekoita suspensiota lusikalla ja lisää tarvittaessa pisaroittain puhdasta vettä kunnes suspensio muistuttaa paksua vaaleansinistä maalia.
5. Levitä suspensio tasaiseksi kerrokseksi petrimaljan pohjalle ja kirjaa ylös värisävy (voit halutessasi ottaa kuvan).
6. Aseta petrimaljat lähelle UV-lamppua ja kytke lamppu päälle. Huom! älä katso suoraan UV-valoon.
7. Tarkista 20 minuutin välein, onko suspensioiden väri muuttunut. Kirjaa vastauslomakkeeseen havainnot värisävyyn muuttumisesta molemmista kidemuodoista. (Voit ottaa kuvan eri vaiheissa, jotta havaitset värimuutoksen.)
8. Poista näyte UV-valosta, kun väri on selvästi hävinnyt tai muuttunut riittävästi. Vertaile oliko eri kiderakenteiden fotokatalyyysireaktion nopeudessa eroja?
9. Katso lopuksi petrimaljan pohjalle. Mitä havaitset? Selitä havaintosi.

Hydrofobinen tekstiili

Merkitse taulukkoon eri nesteiden kontaktikulmat käyttämälläsi materiaaleilla.

materiaali	vesi	kahvi	maito	mehu
tekstiili (pinnoitettu)				
tekstiili (pinnoittamaton)				

- Mitkä materiaalit olivat hydrofobisia ja mitkä hydrofiilisiä? Oliko joku materiaali mielestäsi superhydrofobinen (kontaktikulma yli 150°)?

- Havaitsetko eroja (pisan muoto, liikkuminen ja tekstiilin kastuminen) pinnoittamattoman ja pinnoitetun eli hydrofobisen tekstiilin välillä? Miten vesi käyttäytyy hydrofobisella pinnalla?

- Piirrä kuva nestepisarasta sivusuunnasta hydrofobisimmalla pinnalla.
- Arvioi kallistuskulman suuruus hydrofobiseksi käsitellyllä tekstiilillä: noin ____°
- Täyttikö pinnoitettu tekstiili itsepuhdistuvan superhydrofobisen pinnan vaatimuksia (veden kontaktikulma yli 150° ja kallistuskulma alle 10°)?

- Mitä tapahtui, kun tiputit vesipisaroita tekstiilin pinnalle, jossa oli hienojakoista ”pölyä”? Mitä eroa oli pinnoitetun ja pinnoittamattoman tekstiilin välillä?

- Puhdistuiko pinnoitettu tekstiili helpommin ”pölystä” kuin pinnoittamaton?

- Miten pinnoitus vaikutti tekstiilin kastumiseen, kun se upotettiin veteen?



Liite 7 jatkuu.

- Mitä tarkoittavat hydrofobisuus ja hydrofiilisyy?

- Mitä pisaroille olisi tapahtunut, jos puhtaan veden sijasta olisi käytetty pesuaineliuosta?

- Toimiko työssä tutkimasi pinnoitettu tekstiili niin hyvin, että haluaisit sellaiseksi käsiteltyjä vaatteita tai muita tuotteita?

- Missä arkipäiväisissä kohteissa itse haluaisit hyödyntää superhydrofobisia ominaisuuksia (saa käyttää mielikuvitusta)?

- Likaahylkiviä pinnoitteita on jo monissa kohteissa ja niiden puhdistuvuus- ja kestävyysominaisuuksia kehitetään jatkuvasti paremmiksi. Luuletko, että pinnoitteiden kehittämisen myötä niitä käytetään enemmän vai oletko sitä mieltä, ettei niitä tarvita? Mitä hyötyä niiden käytöstä voi olla sinulle tai yhteiskunnalle? Perustele vastauksesi.

- Miten sinä ja muut kuluttajat voitte vaikuttaa siihen, kuinka paljon itsepuhdistuvien pinnoitteiden määrä muuttuu esimerkiksi tekstiileissä tai kosketusnäyttöjen pinnassa?

Nanoteknologiassa kehitetään jatkuvasti uusia nanomateriaaleja, joiden ominaisuudet poikkeavat suurempikokoisista partikkeleista koostuvista materiaaleista. Niinpä niiden vaikutuksia terveyteen ja luontoon täytyy tutkia, kuten aina uusien materiaalien kohdalla. Joidenkin nanomateriaalien on havaittu olevan suurina määrinä myös terveydelle haitallisia, kuten monet muutkin pienhiukkaset. Ihmisen terveyden kannalta nanohiukkasten pääsy elimistöön tapahtuu suurimmaksi osaksi niiden valmistuksen yhteydessä työperäisen altistumisen seurauksena. Merkittävin reitti nanohiukkasten elimistöön kulkeutumiselle tapahtuu hengityksen kautta, mutta sitä voi tapahtua myös ravinnon tai vaurioituneen ihon välityksellä. Kuvitellaan, että sinua huolettaisi nanomateriaaleja sisältävien tuotteiden terveyshaitat ja haluat itse arvioida niiden turvallisuutta. Numeroi alla olevat nanoteknologian tuotteet mielestäsi turvallisesta vähiten turvalliseen. Perustele valinnat ryhmällesi.

titaani- ja sinkkidioksidin nanopartikkeleita sisältävät aurinkovoiteet	hopean nanopartikkeleita sisältävät antimikrobiset urheiluvaatteet tai sukat
nanoteknologiaa hyödyntävät elektroniikkakomponentit kännykkäsi sisällä	hiilinanoputkia sisältävät urheiluvälineet (jääkiekko-, tennis-, salibandy- tai sulkapallomailat)
antimikrobiset vuodevaatteet	antimikrobiset juomapullot
nanohiukkasia sisältävät kosmetiikan tuotteet	itse lisättävät spray nanopinnoitteet
optisten laitteiden linssien pinnoitteet	itsepuhdistuvat tekstiilit

Liite 8. Hydrofobinen tekstiili -työn opettajan ohje ja vastaukset.

Hydrofobinen tekstiili

KOHDERYHMÄ:

Työ soveltuu yläkouluun ja lukioon. Yläkoulussa työn voi toteuttaa veden ominaisuuksien tai erilaisten materiaalien käsittelyn yhteydessä. Lukiossa työn voi toteuttaa kurssilla KE2 molekyylien välisten sidosten ja vetysidoksen opiskelun yhteydessä tai kurssilla KE4 erilaisten materiaalien ja pinnoitteiden opiskelun yhteydessä.

KESTO: Työn kestää noin 45 minuuttia.

TAVOITEET: Työn yleisenä oppimistavoitteena on oppia hydrofobisuus ja hydrofiilisyyden käsitteet ja palauttaa mieleen veden avulla sidosten ominaisuuksia. Nanoteknologiaan liittyvänä oppimistavoitteena on oppia: ymmärtämään nanomittakaavan rakenteiden vaikutus makromittakaavan ominaisuuksiin, hahmottamaan nanokokoluokka ja -mittakaava sekä tutustua hieman nanoteknologiaan ja sen arkielämän vaikutuksiin.

AVAINSANAT: nanoteknologia – hydrofobisuus – hydrofiilisyyden – veden pintajännitys – hydrofobiset tekstiilit

TYÖN KULKU JA TARVITTAVAT MATERIAALIT:

Ennen kokeellista työskentelyä tehdään etukäteistehtävät ja käsitellään tekstiilipalat osittain hydrofobisiksi. Työ on tarkoitettu tehtäväksi siten, että ensin tutustutaan yhdessä nanoteknologiaa yleisesti käsittelevään osioon, jonka jälkeen oppilaat tutustuvat itsenäisesti työn teoriaan sekä tekevät kokeellisen työskentelyn ja työhön liittyvät kysymykset 3-4 hengen ryhmissä. Lopuksi vertaillaan vielä yhdessä työn tuloksia ja pohditaan vastauksia vastauslomakkeella esitettyihin kysymyksiin. Kokeellisen työn jälkeen oppilaat voivat tehdä kotonaan nanoteknologiaan liittyvän jälkikäteistehtävän.

Kokeellista työtä varten tarvitaan tekstiilipalasia (esim. 10 x 15 cm), josta noin ¾ osaa on pinnoitettu tekstiilisuoja pinnoitteella. Pinnoittaminen tulee tehdä ennen varsinaista kokeellista työkertaa pinnoitteiden kuivumisaikojen vuoksi. Tekstiilisuoja-pinnoitteena voi käyttää esimerkiksi *NanoSchoolboxin* tekstiilipinnoitetta, *Gtechniq I1 Smart Fabric* tai *Nano1*-tekstiilisuoja, jotka ovat helposti tilattavissa internetistä. Parhaiten työssä toimii mikrokuituinen ja polyesteripohjainen tekstiili. Pinnoitettavan tekstiilin tulee olla puhdas ja kuiva eikä sen pesussa saa käyttää huuhteluainetta. Huuhteluaine tekee tekstiilistä hieman vettä hylkivän, joten se estää pinnoitetun ja pinnoittamattoman osan eroavaisuuksien havaitsemisen. Pinnoittamisen voi halutessaan välttää ostamalla työtä varten valmiiksi käsitellyn tekstiilin, esimerkiksi Nano-TextTM-paidan, josta leikkaa paloja.

Kokeellista työtä varten opettajan tarvitsee tuoda mukanaan myös erilaisia nesteitä, kukan (esim. tulppaanin) tai muun kasvin lehtiä, salaatinlehtiä ja pippurirouhetta. Nesteet voivat olla esimerkiksi vesi, mehu, kahvi ja maito, mutta myös muita nesteitä voi kokeilla. Salaatinlehti ei ole välttämätön ja pippurirouheen sijasta voi huumareissa hienontaa taululiidusta hienojakoista pölyä.

Työssä käytetään normaalia laboratoriotyöskentelyyn tarkoitettua suojavarustelua. Hanskat eivät ole pakolliset, mutta paljaista käsistä lähtevä rasva voi jäädä tutkittavan tekstiilin pinnalla estäen pinnoitteen toiminnan.

Jos kokeellisen työskentelyn jälkeen jää aikaa, opettaja voi halutessaan näyttää internetistä superhydrofobisia pinnoitteita käsitteleviä videoita. Hyviä ja monipuolisia videoita ovat esimerkiksi <http://www.youtube.com/watch?v=IfUaKXasD4> (kesto 3:54) ja <http://www.youtube.com/watch?v=BvTkefJHfC0> (kesto 4:44).

Liite 8 jatkuu.

Etukäteistehtävät

Mitä sidoksia yhdessä vesimolekyylissä on?

Vesimolekyylissä on kaksi vedyn ja hapen välistä kovalenttista sidosta.

Mitä sidoksia vesipisarassa on?

Vesimolekyylien sisäiset kovalenttiset sidokset ja vesimolekyylien välille muodostuvat vetysidokset.

Mistä johtuu veden pintajännitys?

Yläkoulu: Vetysidokset pitävät vesimolekyyliä yhdessä. Vesipisaran keskellä olevat vesimolekyylit vetävät pinnalla olevia molekyylejä puoleensa aiheuttaen ohuen kalvon muodostumisen eli pintajännityksen.

Lukio: Pintajännitys johtuu siitä, että nesteen pintaosassa oleviin molekyyleihin vaikuttavat erilaiset voimat kuin sisäosan molekyyleihin. Sisäosassa molekyylien väliset voimat ovat kaikkiin suuntiin yhtä suuret, mutta pinnalla oleviin molekyyleihin vaikuttaa nesteen sisältä suuremmat voimat kuin ulkopuolella olevasta ilmasta. Tästä syystä veden pinnalle muodostuu joustava kalvo, jonka muodostaa ”tiukemmin” toisiinsa sitoutuneet ja tiheämmin pakkautuneet vesimolekyylit. Samasta syystä ilmassa vesipisarat ovat pallomaisia ja hyönteiset pystyvät liikkumaan vedenpinnalla.

Millaisia pinnoitteita havaitset ympäristössäsi (eli miten ympärilläsi olevat materiaalit on päällystetty)?

- *puu lakattu tai maalattu (ovet, kalusteet, seinäpaneelit, lattia...)*
- *kipsi- tai kiviseinät maalattu*
- *metalli kromattu (penkin jalat tai muut kalusteet)*
- *posliinit lasitettu (astiat, lavuaarit ja koriste-esineet)*

Useat materiaalit on pinnoitettu jotenkin. Miksi materiaaleja pinnoitetaan?

Pinnoituksen avulla materiaalit kestävät pidempään, säilyvät parempikuntoisina, eivät ruostu tai lahoa, ne on helpompi puhdistaa ja niiden avulla saadaan eri materiaaleihin halutunlainen ulkonäkö.

JÄLKIKÄTEISTEHTÄVÄ

Etsi internetistä mielestäsi mielenkiintoisin nanoteknologian sovellus. Hakusanoina voit käyttää esimerkiksi nanoteknologiaa tai nanotekniikkaa. Esittele sovellus luokallesi seuraavalla oppitunnilla.

Liite 8 jatkuu.

VASTAUSLOMAKE

Merkitse taulukkoon eri nesteiden kontaktikulmat käyttämälläsi materiaaleilla.

materiaali	vesi	kahvi	maito	mehu
tekstiili (pinnoitettu)	$\sim 155^\circ$	$\sim 140^\circ$	$\sim 140^\circ$	$\sim 150^\circ$
tekstiili (pinnoittamaton)	aluksi saattaa jäädä pisaroita, mutta ne imeytyvät tekstiiliin	-	-	-
teräs (tiskipöytä)	$\sim 40^\circ$	$\sim 20^\circ$	$\sim 10^\circ$	$\sim 30^\circ$
lasi	$\sim 20^\circ$	$\sim 20^\circ$	$\sim 20^\circ$	$\sim 20^\circ$
muovi	$\sim 10^\circ$	$\sim 10^\circ$	$\sim 20^\circ$	$\sim 10^\circ$
kukan lehti (tulppaanin lehti)	$\sim 150^\circ$	$\sim 150^\circ$	$\sim 150^\circ$	$\sim 150^\circ$
salaatin lehti	nestepisarat leviävät	-	-	-

Mitkä materiaalit olivat hydrofobisia ja mitkä hydrofiilisiä? Oliko joku materiaali mielestäsi superhydrofobinen (kontaktikulma yli 150°)?

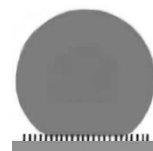
Hydrofobisia ovat kukan lehti ja käsitelty tekstiili (arvioinnista riippuen molemmat voivat olla superhydrofobisia). Teräs, lasi, muovi, salaatti ja käsittelemätön tekstiili olivat hydrofiilisiä.

Havaitsetko eroja (pisaran muoto, liikkuminen ja tekstiilin kastuminen) pinnoittamattoman ja pinnoitetun eli hydrofobisen tekstiilin välillä? Miten vesi käyttäytyy hydrofobisella pinnalla?

Pinnoittamattomalla pinnalla pisarat eivät ole pyöreitä, eivätkä liiku helposti ja imeytyvät vähitellen tekstiiliin kastellen sen. Pinnoitetulla hydrofobisella tekstiilillä vesi muodostaa pyöreitä pisaroita, jotka liikkuvat helposti tekstiiliä kallistettaessa ja itse tekstiili säilyy kuivana.

Piirrä kuva nestepisarasta sivusuunnasta hydrofobisimmalla pinnalla.

Arvioi kallistuskulman suuruus hydrofobiseksi käsitellyllä tekstiilillä: noin 15°



Täyttikö pinnoitettu tekstiili itsepuhdistuvan superhydrofobisen pinnan vaatimuksia (veden kontaktikulma yli 150° ja kallistuskulma alle 10°)?

Ei täyttänyt, koska kallistuskulma oli yli 10° .

Mitä tapahtui, kun tiputit vesipisaroita tekstiilin pinnalle, jossa oli hienojakoista ”pölyä”? Mitä eroa oli pinnoitetun ja pinnoittamattoman tekstiilin välillä?

Pinnoitetulla hydrofobisella tekstiilillä ”pöly” tarttui osittain vesipisarioihin ja liikkui niiden mukana. Pinnoittamattomalla osalla vesi imeytyi tekstiiliin eikä sen avulla voinut yrittää poistaa ”pölyä”.

Puhdistuiko pinnoitettu tekstiili helpommin ”pölystä” kuin pinnoittamaton? Kyllä.

Miten pinnoitus vaikutti tekstiilin kastumiseen, kun se upotettiin veteen? *Pinnoitettu tekstiili kastui vain hieman pinnaltaan, mutta pinnoittamaton imi veden sisäänsä kastuen täysin.*

Liite 8 jatkuu.

Mitä tarkoittavat hydrofobisuus ja hydrofiilisyy?

Hydrofobisuus tarkoittaa vettä hylkivää ja hydrofiilisyy vesihakuista.

Mitä pisaroille olisi tapahtunut, jos puhtaan veden sijasta olisi käytetty pesuaineliuosta?

Pesuaine poistaa veden pintajännityksen, joten pallomaisia vesipisaroita ei olisi muodostunut.

Toimiko työssä tutkimasi pinnoitettu tekstiili niin hyvin, että haluaisit sellaiseksi käsiteltyjä vaatteita tai muita tuotteita?

Missä arkipäiväisissä kohteissa itse haluaisit hyödyntää superhydrofobisia ominaisuuksia (saa käyttää mielikuvitusta)?

Esimerkkejä: kosketusnäyttöjen pinnat, autojen lasi- ja maalipinnat, vaatteet, laukut, kengät ja muut tekstiilit, talomaali, kypärän visiiri jne. Enemmän mielikuvitusta käyttämällä voisi esimerkiksi ruokailuvälineet ja astiat pinnoittaa superhydrofobisiksi, jotta niiden pesemiseen riittäisi vedellä huuhtelu.

Likaahylkiviä pinnoitteita on jo monissa kohteissa ja niiden puhdistuvuus- ja kestävyysominaisuuksia kehitetään jatkuvasti paremmiksi. Luuletko, että pinnoitteiden kehittämisen myötä niitä käytetään enemmän vai oletko sitä mieltä, ettei niitä tarvita? Mitä hyötyä niiden käytöstä voi olla sinulle tai yhteiskunnalle? Perustele vastauksesi. *Itsepuhdistuvien pinnoitteiden hyödyt yhteiskunnalle ja ihmisille voivat olla esimerkiksi puhtaampi elinympäristö (rakennukset ja tekstiilit) ja pienentyneet puhdistuskustannukset (pidentyneet puhdistusvälit ja pesuaineiden vähentynyt tarve).*

Miten sinä ja muut kuluttajat voitte vaikuttaa siihen, kuinka paljon itsepuhdistuvien pinnoitteiden määrä muuttuu esimerkiksi tekstiileissä tai kosketusnäyttöjen pinnassa?

Jos kuluttajat ostavat paljon itsepuhdistuviksi pinnoitettuja tuotteita, niitä alkavat käyttää yhä useammat tuotemerkit ja niiden ominaisuuksia pyritään kehittämään edelleen. Jos kuluttajat taas eivät osta näitä tuotteita, niiden tuotanto supistuu ja kehittämiseen panostetaan vähemmän.

Nanoteknologian tuotteiden turvallisuuteen liittyvä tehtävä:

Numeroi alla olevat nanoteknologian tuotteet mielestäsi turvallisesta vähiten turvalliseen. Perustele valinnat ryhmällesi.

5	tinaani- ja sinkkidioksidin nanopartikkeleita sisältävät aurinkovoiteet	6	hopean nanopartikkeleita sisältävät antimikrobiset urheiluvaatteet tai sukat
1	nanoteknologiaa hyödyntävät elektroniikkakomponentit kännykkäsi sisällä	3	hiilinanoputkia sisältävät urheiluvälineet (jäähiekko-, tennis-, salibandy- tai sulkapallomailat)
8	antimikrobiset vuodevaatteet	7	antimikrobiset juomapullot
9	nanohiukkasia sisältävät kosmetiikan tuotteet	10	itse lisättävät spray nanopinnoitteet
2	optisten laitteiden linssien pinnoitteet	4	itsepuhdistuvat tekstiilit

Vastaukset ovat vain suuntaa antavia. Eri tuotteiden haitallisuuteen vaikuttaa erityisesti, kuinka paljon niitä käyttää, mitä aineita ne sisältävät ja miten helposti ne voivat kulkeutua elimistöön.

Liite 9. Titaanidioksidin fotokatalyyysi – työn oppilaan vastauslomake (yläkoulu).

Titaanidioksidin fotokatalyyysi – työn vastauslomake

Käytetty metyleenisinisen laimennus: _____pisaraa 10 millilitraan vettä.

Täydennä taulukko työn edetessä

	Anataasi	Rutiili
värit alussa		
värit (30 min.)		
värit (60 min.)		
värit (90 min.)		

Millainen seos suspensio on?

Miksi työssä käytettiin laimennuttua metyleenisinisen liuosta ja miten laimennuksen vahvuus vaikuttaa fotokatalyyttiseen hajoamisreaktioon?

Olisiko metyleenisinisen liuos hajonnut ilman UV-lamppua tai ilman titaanidioksidijauhetta?

Mikä merkitys UV-valolla on titaanidioksidin fotokatalyyysissä?

Miten valmistetut suspensiot kannattaisi sijoittaa, jos työssä ei ole käytössä UV-lamppua?

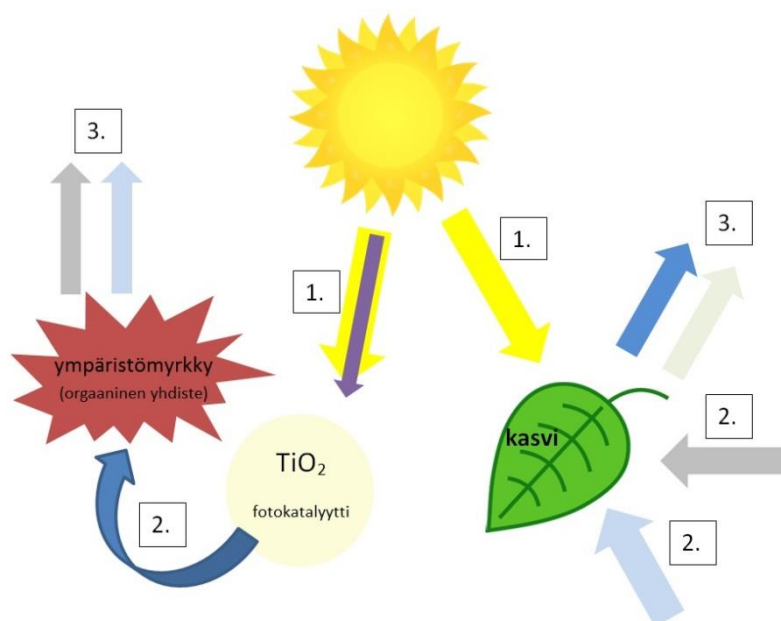
Havaitsetko anataasin ja rutiilin kiderakenteisista valmistettujen suspensioiden hajotusreaktioiden nopeudessa eroja? Kumpi kidemuoto olisi työn perusteella parempi todelliseen vesistöjen puhdistukseen?

Mikä toimii työn fotokatalyyttisessä reaktiossa katalyyttinä?_____

Selitä, mitä tarkoittaa fotokatalyyysi._____

Liite 9 jatkuu.

Fotokatalyyysin toimintaperiaate muistuttaa luonnon tärkeintä kemiallista reaktiota eli fotosynteesiä. Yhdistä alla olevaan taulukkoon periaatekuvassa esitetyt numerot ja niitä vastaavat tiedot.



FOTOKATALYYSI	FOTOSYNTeesi	
1.	1.	A. vesi (H ₂ O) ja hiilidioksidi (CO ₂)
2.	2.	B. auringonvalo
3.	3.	B. happi (O ₂) ja sokeri
		D. UV-säteily
		E. hapettavat yhdisteet

Titaanidioksidin ja muiden fotokatalyyttien tehostamiseksi etsitään koko ajan uusia ratkaisuja. Niitä ovat esimerkiksi nanokokoluokan rakenteiden valmistaminen, jonka avulla valonsäteilyä vastaanottava pinta-ala kasvaa tai muiden alkuaineiden seostaminen fotokatalyytin kiderakenteeseen, jotta se pystyisi hyödyntämään myös näkyvän valon säteilyä ja toimisi myös sisävalaistuksessa. Jos tiede onnistuu kehittämään fotokatalyyysin riittävän tehokkaaksi, voivat antibakteeriset pinnoitteet yleistyä, veden ja ilman puhdistus tehostuisi sekä aurinkokennojen hyötysuhde parantuisi. Mitä hyötyä uusista teknologian sovelluksista olisi yhteiskunnalle tai ympäristölle? Miten ne vaikuttaisivat sinuun?

Miten yhteiskunta pystyy vaikuttamaan siihen, millaisia uusia sovelluksia tai tuotteita nanoteknologia kehittää?

Liite 10. Titaanidioksidin fotokatalyyysi – työn opiskelijan vastauslomake (lukio).

Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn vastauslomake

TYÖOHJEEN TEHTÄVÄT

Käytetty metyleenisinisen laimennus: __ pisaraa 10 millilitraan vettä.

Täydennä taulukko työn edetessä

	Anataasi	Rutiili
värit alussa		
värit (30 min.)		
värit (60 min.)		
värit (90 min.)		

Miksi työssä käytettiin laimennuttua metyleenisinisen liuosta ja miten laimennuksen vahvuus vaikuttaa fotokatalyyttiseen hajoamisreaktioon?

Olisiko metyleenisinisen liuos hajonnut ilman UV-lamppua tai ilman titaanidioksidijauhetta?

Mikä merkitys UV-valolla on titaanidioksidin fotokatalyyysissä?

Miten valmistetut suspensiot kannattaisi sijoittaa, jos työssä ei ole käytössä UV-lamppua?

Havaitsetko anataasin ja rutiilin kiderakenteisista valmistettujen suspensioiden hajotusreaktioiden nopeudessa eroja? Kumpi kidemuoto olisi työn perusteella parempi todelliseen vesistöjen puhdistukseen?

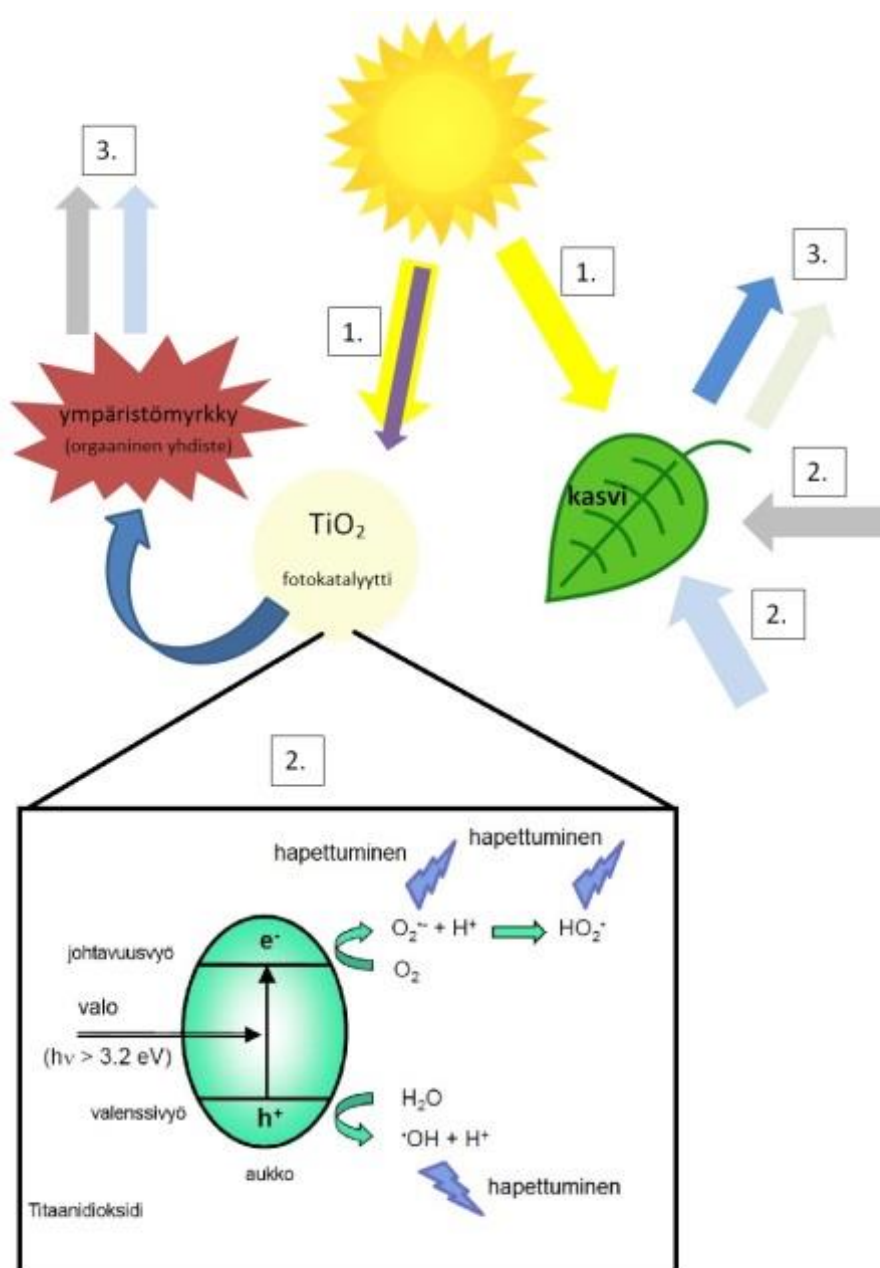
Steariinihappo on orgaaninen yhdiste, jonka rakennekaava on $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$. Myös sen avulla tutkitaan fotokatalyyttistä aktiivisuutta ja se hajoaa fotokatalyyttisesti täysin vedeksi ja hiilidioksidiksi. Kirjoita sen hapettumista vastaava kokonaisreaktio.

Mikä toimii työn fotokatalyyttisessä reaktiossa katalyyttinä?

Selitä, mitä tarkoittaa fotokatalyyysi.

Liite 10 jatkuu.

Fotokatalyyysin toimintaperiaate muistuttaa luonnon tärkeintä kemiallista reaktiota eli fotosynteesiä. Yhdistä alla olevaan taulukkoon periaatekuvassa esitetyt numerot ja niitä vastaavat tiedot.



FOTOKATALYYSI	FOTOSYNTESI	
1.	1.	A. vesi (H_2O) ja hiilidioksidi (CO_2)
2.	2.	B. auringonvalo
3.	3.	C. happi (O_2) ja sokeri
		D. UV-säteily
		E. hapettavat yhdisteet ja hapetus-pelkistysreaktiot

Liite 10 jatkuu.

Titaanidioksidin ja muiden fotokatalyyttien tehostamiseksi etsitään koko ajan uusia ratkaisuja. Niitä ovat esimerkiksi nanokokoluokan rakenteiden valmistaminen, jonka avulla valonsäteilyä vastaanottava pinta-ala kasvaa tai muiden alkuaineiden saostaminen fotokatalyytin kiderakenteeseen, jotta se pystyisi hyödyntämään myös näkyvän valon säteilyä ja toimisi myös sisävalistuksella. Jos tiede onnistuu kehittämään fotokatalyyysin riittävän tehokkaaksi, voivat esimerkiksi antibakteeriset pinnoitteet yleistyä, veden ja ilman puhdistus tehostuisi sekä aurinkokennojen hyötysuhde parantuisi. Mitä hyötyä uusista teknologian sovelluksista olisi yhteiskunnalle tai ympäristölle? Miten se vaikuttaa sinuun?

Nanoteknologian sovellukset ja niiden kehittäminen vaatii paljon tietoa, taitoa, laitteita ja taloudellista panostusta. Tästä syystä kaikkein köyhimmmät ihmiset eivät yleensä pääse hyötymään uusista sovelluksista, vaikka niiden avulla voisi ratkaista heille vaikeita ongelmia. Rikkaat valtiot kuitenkin tukevat taloudellisesti köyhiä valtioita. Mitä mieltä olet ideasta, jossa osa tukirahoista ohjattaisiin vaikkapa tehokkaaseen juomavedenpuhdistukseen tarkoitetun tuotteen kehitykseen ja valmistukseen? Olisiko tällainen toiminta mielestäsi hyvä vai huono asia? Perustele vastauksesi.

Miten yhteiskunta pystyy vaikuttamaan siihen, millaisia uusia sovelluksia tai tuotteita nanoteknologia kehittää?

Liite 11. Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn opettajan ohje ja vastauslomake.

Titaanidioksidin fotokatalyyysi -työn opettajan ohje

KOHDERYHMÄ: Yläkoulussa työn voi toteuttaa hapettumisen ja pelkistymisen tai ympäristöongelmien opiskelun yhteydessä. Lukiossa työn voi toteuttaa kursseilla KE3 epäorgaanisten ja orgaanisten reaktiotyyppien, mekanismien ja sovellusten tai kursseilla KE4 hapettumis- ja pelkistymisreaktioiden opiskelun yhteydessä.

KESTO: Työn kestää yhdellä kertaa toteutettuna noin 90 minuuttia.

TAVOITEET: Työn yleisenä tavoitteena on oppia fotokatalyyysin toimintaperiaate ja kerrata hapettumiseen ja pelkistymiseen liittyvää teoriaa. Nanoteknologiaan liittyvänä tavoitteena on oppia ymmärtämään aineen rakenteen hierarkiaa ja nanomittakaavan rakenteiden vaikutus makromittakaavan ominaisuuksiin.

AVAINSANAT: nanoteknologia – fotokatalyyysi – titaanidioksidi

TYÖN KULKU TARVITTAVAT MATERIAALIT JA REAGENSIT:

Ennen kokeellista työskentelyä tehdään etukäteistehtävät. Työ on tarkoitettu tehtäväksi siten, että ensin käsitellään yhdessä nanoteknologiaa yleisesti käsittelevä osio, jonka jälkeen oppilaat tutustuvat itsenäisesti työn teoriaan, siirtyvät kokeelliseen työskentelyyn ja vastaavat työhön liittyviin kysymyksiin 4-5 hengen ryhmissä. Lopuksi vertaillaan yhdessä työn tuloksia ja pohditaan vastauksia vastauslomakkeen kysymyksiin. Koska työssä tapahtuva fotokatalyyttinen reaktio tapahtuu hitaasti, voi työn toteutustapaa halutessaan muuttaa niin, että nanoteknologian yleinen osio ja työn lopussa olevat yleiset kysymykset käsitellään vasta, kun hajoamisreaktio on jo käynnissä. Työssä käytettävän UV-valon ja näytteet voi peittää alumiinifoliopaperilla, jolloin säteilyn pääsy ympäristöön estyy ja näytteiden säteily määrä voi kasvaa. Jos työ tehdään ilman UV-lamppua, tulisi auringon paistaa suoraan näytteisiin. Fotokatalyyttisen hajoamisreaktion kannattaa antaa tapahtua esimerkiksi ikkunalaudalla seuraavaan kemian oppituntiin asti. Kokeellisen työn jälkeen voi oppilaat halutessaan ohjeistaa vielä tekemään kotonaan jälkikäätehtävän.

Työssä tarvittavat titaanidioksidin nanokokoluokan jauheita ei löydy normaalisti kemian luokista, joten ne täytyy hankkia erikseen työtä varten (esim. osoitteesta: <http://www.nanoschoolbox.de/en/nutzungsbedingungen/nanoschoolkit-1/nanoschoolkit-4.html>).

Fotokatalyyttisesti hajotettavan metyleenisinisen indikaattoriliuoksen sijasta voi käyttää myös mureksidi-indikaattoria. Työssä opettajan voi halutessaan ohjeistaa eri ryhmille eri vahvuiset laimennukset metyleenisinisen liuoksille, jolloin ainemäärän vaikutus on selkeämmin nähtävillä. Joku ryhmä voi aurinkoisena päivänä testata fotokatalyyysin toimintaa myös luonnonvalon avulla. Laimennus voi olla esimerkiksi 0,5 % metyleenisinisen indikaattoriliuosta 3 tai 5 pisaraa 10 millilitraan puhdasta vettä. Laimennettua liuosta käytetään sen verran, että suspension voi havaita olevan selvästi värillinen (noin 15 pisaraa). Mitä enemmän hajotettavaa yhdistettä käytetään, sitä pidempi aika hajoamiseen tarvitaan. Jos tällä liuosmäärällä suspensiosta tulee liian paksua ja vaikeasti sekoitettavaa voi siihen lisätä pisaroittain puhdasta vettä.

Liite 11 jatkuu.

Metyleenisiinisen hajoaminen tapahtuu useiden eri reaktiotuotteiden kautta ja reaktiossa voi havaita värin muuttuvan välillä sinisestä violetinsävyiseksi tai valkoiseksi. Värin johtuvat metyleenisiinisen eri hajoamistuotteiden muodoista, joista yksi on violettisävyinen ja *leuco*-muoto valkoinen. Lopullinen hajoamistuote on väriltään valkoinen. Opettaja voi halutessaan esittää työn aikana metyleenisiinisen hapettumiseen liittyvän *Sininen pullo* -demonstraation tai näyttää sen videolta. Demonstraatio-ohje ja video löytyvät osoitteesta (<http://www.kemianluokka.fi/demot>).

Muita fotokatalyyssivideoita:

http://www.youtube.com/watch?v=U_oaUOLoK3k (sisäilman puhdistus suomeksi kesto 1:36)

<http://www.youtube.com/watch?v=vMgX6wrzFgo> (englanniksi kesto 5:33)

ETUKÄTEISTEHTÄVÄT

Mitä tarkoitetaan katalyytillä?

Katalyytti on aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota tietyssä lämpötilassa kulumatta itse reaktiossa.

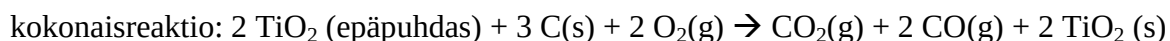
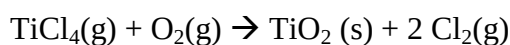
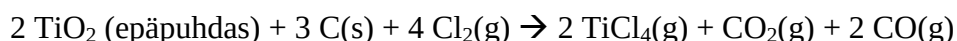
Mitä tarkoittaa hapettuminen ja pelkistyminen?

Hapettuminen ja pelkistyminen ovat elektronien siirtymiseen liittyviä reaktioita. Aine, joka luovuttaa elektroneja hapettuu ja aine, joka vastaanottaa elektroneja pelkistyy.

(Lukio) Nimeä TiO_2 -yhdiste ja selvitä hapetusluvut.

Yhdiste on titaanidioksidi ja hapetusluvut ovat: titaani +IV ja happi -II.

(Lukio) Luonnosta saatava titaanidioksidi ei ole täysin puhdasta, joten se puhdistetaan kemiallisella prosessilla kahdessa eri vaiheessa. Tasapainota eri vaiheiden osareaktiot ja esitä tasapainotettu kokonaisreaktio.



JÄLKIKÄTEISTEHTÄVÄ

Etsi internetistä mielestäsi mielenkiintoisin nanoteknologian sovellus. Hakusanoina voit käyttää esimerkiksi nanoteknologiaa tai nanotekniikkaa. Esittele sovellus luokallesi seuraavalla oppitunnilla.

Liite 11 jatkuu.

TYÖOHJEEN TEHTÄVÄT

Käytetty metyleenisinisen laimennus: 5 pisaraa (0,5 %) 10 millilitraan vettä. Laimennuksen voi ohjeistaa eri vahvuisiksi eri ryhmille.

Täydennä taulukko työn edetessä

	Anataasi	Rutiili
värit alussa	vaalean sininen	vaaleansinisen ja violetin väliltä
värit (30 min.)	selvästi vaalentunut, mutta vaaleansinisiä alueita vielä havaittavissa	osittain vaalentunut mutta vaaleansinistä ja violettia vielä selvästi havaittavissa
värit (60 min.)	vaalentuu edelleen	ei suurta muutosta
värit (90 min.)	lähes puhtaan valkoinen	vaalentunut, mutta sinine sävy vielä havaittavissa

Miksi työssä käytettiin laimennuttua metyleenisinisen liuosta ja miten laimennuksen vahvuus vaikuttaa fotokatalyyttisen hajoamisreaktion nopeuteen?

Työssä käytetään laimennettua seosta, jotta hajoamisreaktio tapahtuisi nopeammin. Mitä vahvempaa laimennettu liuos on, sitä kauemmin hajoamisreaktio kestää.

Olisiko metyleenisinisen liuos hajonnut ilman UV-lamppua tai ilman titaanidioksidijauhetta?

Liuos olisi hajonnut hitaasti ilman UV-lamppua auringonvalon avulla, mutta ilman titaanidioksidia hajoamisreaktio ei olisi tapahtunut tai reaktio olisi tapahtunut paljon hitaammin.

Mikä merkitys UV-valolla on titaanidioksidin fotokatalyyssissä?

Titaanidioksidin fotokatalyyssi vaatii UV-säteilyä. Puhtaassa titaanidioksidissa elektronien virittyminen ja sitä seuraavat hapetus-pelkistysreaktiot tapahtuvat vain UV-valon aallonpituusalueella olevan säteilyn avulla.

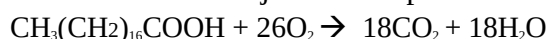
Miten valmistetut suspensiot kannattaisi sijoittaa, jos työssä ei ole käytössä UV-lamppua?

Ne kannattaisi sijoittaa siten, että aurinko paistaisi niihin mahdollisimman hyvin eli esimerkiksi ikkunalaudalle.

Havaitsetko anataasin ja rutiilin kiderakenteista valmistettujen suspensioiden hajotusreaktioiden nopeudessa eroja? Kumpi kidemuoto olisi työn perusteella parempi todelliseen vesistöjen puhdistukseen?

Anataasin kidemuodosta valmistettu suspensio hajotti metyleenisinistä liuosta nopeammin kuin rutiilista valmistettu suspensio. Anataasi olisi työn perusteella parempi kidemuoto todelliseen fotokatalyyttiseen veden puhdistukseen.

(lukio) Steariinihappo on orgaaninen yhdiste, jonka rakennekaava on $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$. Myös sen avulla tutkitaan fotokatalyyttistä aktiivisuutta ja se hajoaa fotokatalyyttisesti täysin vedeksi ja hiilidioksidiksi. Kirjoita sen hapettumista vastaava kokonaisreaktio.



Mikä toimii työn fotokatalyyttisessä reaktiossa katalyyttinä? Titaanidioksidi on reaktion katalyytti.

Selitä, mitä tarkoittaa fotokatalyyssi. (yläkoulu) *Fotokatalyyssi on kemiallinen reaktio, jossa valo aiheuttaa katalyytin avulla orgaanisten yhdisteiden hajoamisen hiilidioksidiksi ja vedeksi.*

(lukio) *Fotokatalyyssi on kemiallinen reaktio, jossa valon säteily aiheuttaa katalyytin virittymisen. Virittymisen seurauksena syntyy hapettavia yhdisteitä, joiden avulla orgaaniset yhdisteet hapettuvat hiilidioksidiksi ja vedeksi.*

Liite 11 jatkuu.

Fotokatalyyysin toimintaperiaate muistuttaa luonnon tärkeintä kemiallista reaktiota eli fotosynteesiä. Yhdistä alla olevaan taulukkoon periaatekuvassa esitetyt numerot ja niitä vastaavat tiedot.

FOTOKATALYYSI	FOTOSYNTeesi	
1. B	1. B	A. vesi (H ₂ O) ja hiilidioksidi (CO ₂)
2. E	2. A	B. auringonvalo
3. A	3. C	C. happi (O ₂) ja sokeri
		D. UV-säteily
		E. hapettavat yhdisteet ja hapetus-pelkistysreaktiot

Titaanidioksidin ja muiden fotokatalyyttien tehostamiseksi etsitään koko ajan uusia ratkaisuja. Niitä ovat esimerkiksi nanokokoluokan rakenteiden valmistaminen, jonka avulla valonsäteilyä vastaanottava pinta-ala kasvaa tai muiden alkuaineiden saostaminen fotokatalyytin kiderakenteeseen, jotta se pystyisi hyödyntämään myös näkyvän valon säteilyä, ja toimisi näin myös sisävalistuksella. Jos tiede onnistuu kehittämään fotokatalyyysin riittävän tehokkaaksi, voivat esimerkiksi antibakteeriset pinnoitteet yleistyä, veden ja ilman puhdistus tehostuisi sekä aurinkokennojen hyötysuhde parantuisi. Mitä hyötyä uusista teknologian sovelluksista olisi yhteiskunnalle tai ympäristölle? Miten ne vaikuttaisivat sinuun? Yhteiskunnan kannalta merkittävintä olisi puhtaan energian tuottaminen, joka puolestaan vähentäisi ympäristön saastumista ja hillitsi kasvihuoneilmiötä. Ympäristöongelmia aiheuttavaa saastumista voitaisiin hillitä ja vähentää erityisesti niillä alueilla, jossa ympäristösaasteet ovat ongelma. Suomessa ympäristön saastuminen ei ole tällä hetkellä erityisen paha ongelma eikä aurinkoenergiaa ole ympärivuoden saatavilla, joten muutos ei välttämättä yksilön kohdalla olisi kovin mullistava. Kuitenkin energiapulan helpottaminen, puhtaampi elinympäristö ja sisäilma sekä tautien leviämisen estäminen vaikuttaisivat osaltaan kaikkien elämään.

(lukio) Nanoteknologian sovellusten kehittäminen vaatii paljon tietoa, taitoa, laitteita ja taloudellista panostusta. Tästä syystä kaikkein köyhimvät ihmiset eivät yleensä pääse hyötymään uusista sovelluksista, vaikka niiden avulla voisi ratkaista heille vaikeita ongelmia. Rikkaammat valtiot kuitenkin tukevat taloudellisesti köyhiä valtioita. Mitä mieltä olet ideasta, jossa osa tukirahoista ohjattaisiin vaikkapa tehokkaaseen juomavedenpuhdistukseen tarkoitetun tuotteen kehitykseen ja valmistukseen? Olisiko tällainen toiminta mielestäsi hyvä vai huono asia? Perustele vastauksesi.

Tähän ei ole oikeaa vastausta olemassakaan, vaan tarkoitus on saada opiskelijat pohtimaan asioita myös eettiseltä näkökulmalta. Ideaa kannattava perustelu voisi olla: Jos vedenpuhdistukseen käytettävät tuotteet sitouduttaisiin kehittämään toimiviksi kohdemaan ongelmia ajatellen ja ne toimitettaisiin varmasti perille, olisi toiminta hyväksyttävää. Ideaa vastustava perustelu voisi olla: Tuotekehittely ja valmistus ei välttämättä onnistuisi, joten kohdamaa kärsisi entistä enemmän ongelmistaan ja muutenkin ongelmiin pitäisi kehittää ratkaisuja muilla varoilla, joten tällainen toiminta ei olisi hyväksyttävää.

Miten yhteiskunta pystyy vaikuttamaan siihen, millaisia uusia sovelluksia tai tuotteita nanoteknologia kehittää?

Yhteiskunta voi tukea taloudellisesti erilaisia tutkimusohjelmia, jotka tähtäävät haluttujen sovellusten kehittämiseen. Se voi myös ohjata koulutuspolitiikalla jonkin alan osaajien määrän lisäämistä tai rajoittaa joidenkin tuotteiden tuotantoa ja käyttöä lainsäädännöllä.