



HELSINGIN YLIOPISTO

# **Kehittämistutkimus: Kemian relevanssin tukeminen hammastahnakontekstin avulla**

Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma  
Maisterintutkielma

Laatija:

Juuso Mälkönen

Ohjaajat:

Johannes Pernaa

Outi Haatainen

Maija Aksela

28.7.2024

Helsinki

**Tiedekunta:** Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

**Koulutusohjelma:** Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma

**Opintosuunta:** Kemia

**Tekijä:** Juuso Mälkönen

**Työn nimi:** Kehittämistutkimus: Kemian relevanssin tukeminen

hammastahnakontekstin avulla

**Työn laji:** Maisterintutkielma

**Kuukausi ja vuosi:** 7/2024

**Sivumäärä:** 61

**Avainsanat:** Hammastahnan kemia, kemian opetus, kontekstipohjainen opetus, relevanssi

**Ohjaajat:** Johannes Pernaa, Outi Haatainen ja Maija Aksela

### **Tiivistelmä:**

Kemian opiskelun kiinnostus on ollut laskussa viime vuosina. Yhdeksi ratkaisuksi on esitetty opetuksen relevanssin lisäämistä kontekstipohjaisen opetuksen avulla. Tämän maisterintutkielman tarkoituksena on esitellä hammastahnakontekstiin liittyvä kehittämistutkimus. Tutkimuksessa kehitettiin hammastahnan kemiaan liittyvä kokeellinen opetuskokonaisuus, jonka tavoitteena oli tukea yläkoulun oppilaiden kokemusta kemian opetuksen relevanssista. Hammastahnan hyödyntämistä kemian kontekstina ei aiemmin ollut juuri tutkittu.

Kehittämistutkimus toteutettiin yksisyklisenä. Tutkimuksen teoreettisessa ongelma-analyysin keskeiset sisällöt olivat kontekstipohjainen opetus, relevanssi ja hammastahnan kemia. Teoreettisessa ongelma-analyysissä selvitettiin, miten kontekstipohjaisen kemian opetuksen avulla tukea opetuksen relevanssia Stuckeyn ym. (2013) relevanssimallin eri tasoilla (TK1). Pragmaattisessa ongelma-analyysissä kartoitettiin, miten hammastahna ja siihen liittyvä kemia soveltuu peruskoulun opetussuunnitelman kemian tavoitteisiin ja sisältöalueisiin (TK2). Ongelma-analyysin havaintoja hyödynnettiin kehittämisprosessissa. Tuotosta testattiin yläkoulun oppilaille toteutetulla tapaustutkimuksella, jonka avulla pyrittiin selvittämään opetusmateriaalin vaikutus oppijan kokemuksen kemian relevanssista (TK3). Aineistonkeruumenetelmänä hyödynnettiin kyselylomaketta.

Kehittämistuotos koostui kahdesta osasta: hammastahnan ominaisuuksiin ja ainesosiin perehtymisestä ja kokeellisesta osiosta. Ensimmäisessä osiossa ensin määritettiin hammastahnan halutut ominaisuudet ja niiden perusteella muodostettiin ainesosaryhmiä, joihin kaupallisen hammastahnan ainesosat jaoteltiin kosmetiikkatietokantaa hyödyntäen. Kokeellisessa osiossa valmistettiin hammastahnaa tee-se-itse-ohjeiden mukaisesti ja vertailtiin sitä kaupalliseen vaihtoehtoon.

Tapaustutkimuksen perusteella kehitetty opetuskokonaisuus vaikutti vain vähän oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista. Henkilökohtaisen ja yhteiskunnallisen relevanssin osalta vaikutus oli lievästi positiivinen, mutta ammatillisen relevanssin osalta vaikutusta ei ollut tai se oli hieman negatiivinen. Tulosten perusteella tuotos tarjosi oppilaille hyödyllistä tietoa hammastahnasta ja auttoi ymmärtämään kemian merkitystä arjen tuotteissa.

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kehittämistutkimus</b>	<b>2</b>
2.1	Kehittämistutkimus tutkimusstrategiana	2
2.2	Tutkimuskysymykset	4
<b>3</b>	<b>Ongelma-analyysi</b>	<b>5</b>
3.1	<b>Kemian relevanssi</b>	<b>5</b>
3.1.1	Relevanssimalli	6
3.1.2	Relevanssi kemian opetuksen tutkimuksessa	7
3.2	<b>Kontekstipohjainen opetus</b>	<b>9</b>
3.2.1	Hammastahna ja kosmetiikka kemian opetuksen kontekstina	12
3.3	<b>Relevantti kontekstipohjainen kemian opetus (TK1)</b>	<b>13</b>
3.4	<b>Hammaskiilteen kemiallinen koostumus ja reikiintymisen kemia</b>	<b>14</b>
3.4.1	Hammaskiilteen kemiallinen koostumus	14
3.4.2	Reikiintymisen kemia	16
3.5	<b>Hammastahnan kemia</b>	<b>19</b>
3.5.1	Aktiiviset aineet	19
3.5.1.1	Fluoridiyhdisteet	19
3.5.1.2	Plakin ja hammaskiven muodostumista ehkäisevät aineet	20
3.5.1.3	Pahanhajuista hengitystä ehkäisevät aineet	22
3.5.1.4	Valkaisevat aineet	22
3.5.1.5	Hionta-aineet	24
3.5.2	Apuaineet	24
3.5.2.1	Sidosaineet	24
3.5.2.2	Vahtoutumisaineet	25
3.5.2.3	Maku- ja väriaineet	25
3.6	<b>Kemian opetuksen tavoitteet ja sisällöt yläkoulussa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (TK2)</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Kehittämisprosessi</b>	<b>32</b>
4.1	<b>Kehittämissuunnitelma</b>	<b>32</b>
4.2	<b>Kokeellisen työn kehittämisprosessi</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Kehittämistuotos</b>	<b>36</b>

5.1	Hammastahnan ominaisuuksien määrittely ja tiedonhaku	36
5.2	Kokeellinen osio: hammastahnan valmistus ja testaus	38
6	Kehittämistuotoksen arviointi	39
6.1	Tutkimusasetelma	39
6.2	Tutkimusinstrumentti	40
6.3	Kyselyn tulokset	42
6.3.1	Tilastollinen analyysi	42
6.3.2	Sisällönanalyysi	45
7	Johtopäätökset	48
7.1	Kontekstipohjaisen opetuksen mahdollisuudet ja haasteet relevanssin tukemisessa (TK1)	48
7.2	Hammastahnankontekstin soveltuvuus peruskoulun opetussuunnitelman suunnitelman mukaiseen kemian opetukseen (TK2)	49
7.3	Opintokokonaisuuden vaikutus oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista (TK3)	50
7.4	Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuksen tarve	52
	Lähteet	54
	Liitteet	62
	Liite 1. Työohje	62
	Liite 2. Kyselylomake	66

## 1 Johdanto

Suomalaisten nuorten kiinnostus kemian opiskelua kohtaan on ollut laskussa viime vuosina (Kärnä ym., 2012). Myös heidän luonnontieteellinen osaamistasonsa on tutkimusten mukaan heikentynyt. Luonnontieteiden osaamisen heikkeneminen on kansainvälinen piirre, mutta Suomessa lasku on ollut poikkeuksellisen rajua (Hiltunen ym., 2023). Yhdeksi ehdotetuksi syyksi on esitetty, että oppilaat eivät koe kemiaa ja sen opiskelua relevanttina (Broman ym., 2022; Gilbert, 2006). On ehdotettu, että kemian relevanssia voidaan lisätä kontekstipohjaisella opetuksella (Bennett, 2016; Stuckey ym., 2013).

Tutkielman tavoitteena on kehittää yläkoulun kemian opetukseen kontekstipohjainen opintokokonaisuus, joka lisää oppilaiden kokemusta kemian ja sen opiskelun relevanssista. Kontekstina hyödynnetään hammastahnaa ja siihen liittyvää kemiaa. Hammastahna on arkielämän konteksti, jonka avulla voi olla mahdollista havainnollistaa kemian merkitystä oppilaan omassa elämässä. Hammastahna on myös yhteiskunnallisesti merkittävä kemian tuote, sillä se on tärkeä osa suun terveyttä (Loveren, 2013). Lasten ja nuorten suun terveydentila on heikentynyt viime vuosina Suomessa (Honkala ym., 2022). Aihe on tutkimuksellisesti merkittävä, koska hammastahnan hyödyntämistä kontekstipohjaisessa kemian opetuksessa ei ole aiemmin tutkittu. Tutkielman tavoitteena on luoda opetuksessa käytettävä opetuskokonaisuus, koska on havaittu, että opettajien vaikea hyödyntää uutta tieteellistä tietoa opetuksessaan, jos se ei ole tarpeeksi käytännönläheistä (Bennett, 2016). Tämän takia tutkimuksen lähestymistavaksi valittiin kehittämistutkimusta, sillä sen keskeisenä piirteenä on luoda käytännön artefakti (Pernaa, 2013).

Tutkielma toteutetaan yksisyklisenä kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimus ja sen käyttö tutkimusstrategiana esitellään luvussa 2. Luvun 2 lopussa määritellään tutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset (alaluku 2.2). Tämä kehittämistutkimus koostuu ongelma-analyysistä (luku 3), jossa kartoitetaan kehittämisen tavoitteita, tarpeita ja haasteita tieteellisen tutkimuksen pohjalta, kehittämisprosessista (luku 4), jossa kuvataan käytännön kehitystyötä ja sen aikana tehtyjä huomioita, kehittämistuotoksesta (luku 5) ja sen arvioinnista (luku 6) sekä johtopäätöksistä (luku 7).

## 2 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus tai design-tutkimus (eng. *design research* tai *design-based research*) on tutkimusstrategia, jota hyödynnetään erityisesti opetuslalla (Pernaa, 2013). Strategia yhdistelee monia eri tutkimuksellisia lähestymistapoja eikä sillä ole yksikäsitteistä määritelmää. Se on kehitetty vastaamaan opetuksen tutkimukseen kohdistettuun kritiikkiin, jonka mukaan alalla tuotettua tietoa ei voida tehokkaasti hyödyntää opetustyön tukena. Perinteisen tutkimuksen tuottama tieto on käytännön opetustyöstä erillistä, eikä opettajat kykene hyödyntämään sitä opetuksessa. Perinteisessä tutkimuksessa tarkastellaan usein yhden tai muutaman muuttujan vaikutusta opetukseen, mutta todellisessa oppimisympäristössä muuttujia on lukemattomia ja yhden tekijän vaikutukset hautautuvat kokonaisuuteen. Tällainen tieto opetuksen osista ei ole opettajille tarpeeksi vaan he tarvitsevat teorioita, joiden vaikutus on havaittavissa käytännössä (Anderson & Shattuck, 2012). Strategian tavoitteena on yhdistää teoria ja käytäntö pragmaattisella lähestymistavalla, jolloin tuloksena on tieteellisen tiedon lisäksi kehittämistuotos, jota voi hyödyntää opetuksessa (Juuti & Lavonen, 2012). Kehittämistutkimus on vakiintunut käyttöön 2000-luvulla (Pernaa, 2013).

### 2.1 Kehittämistutkimus tutkimusstrategiana

Juuti ja Lavonen (2012) määrittelevät kehittämistutkimukselle kolme ominaispiirrettä:

1. Kehittämisprosessi on iteratiivinen
2. Tavoitteena on kehittää opetusta tukeva artefakti
3. Prosessi tuottaa uutta tietoa opetuksesta

Kehittämistutkimuksen luonteelle on keskeistä sen itseään tarkentava luonne. Tutkimuksen alussa tutkijoiden määrittämät tavoitteet, strategiat ja ratkaisut kehittyvät prosessin edetessä. Tutkimuksen aikana tehdyt havainnot ja saatu informaatio muokkaa lähtöasetelmaa, jotka puolestaan vaikuttavat prosessin etenemiseen. (Juuti & Lavonen, 2012.)

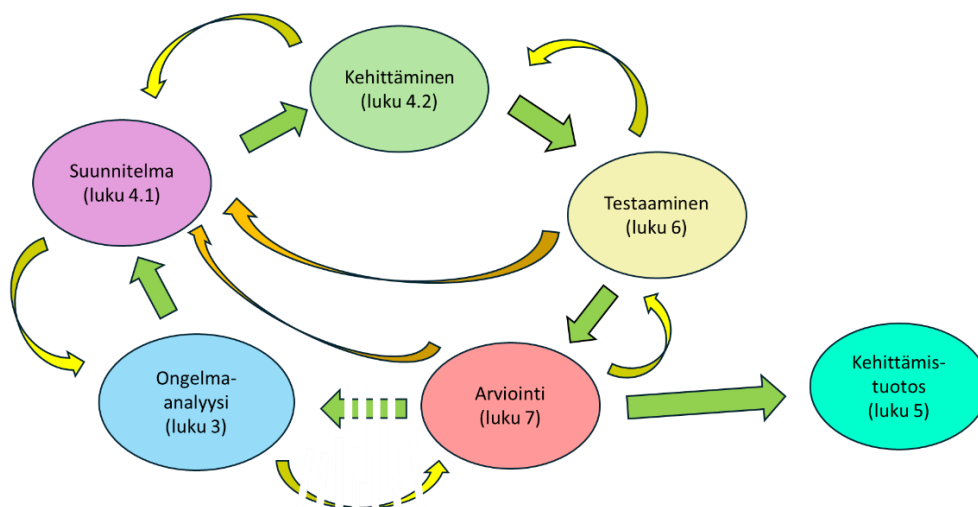
Toinen kehittämistutkimukselle keskeinen piirre on se, että kehittämistutkimuksen tavoitteena on luoda artefakti, jota voidaan hyödyntää osana opetusta. Tutkimus on

siten käytännönläheistä. Toisaalta kehittämistutkimuksen tulee perustua tieteelliselle tutkimukselle, jotta se on tieteellisesti luotettavaa ja pätevää (Pernaa, 2013).

Kolmantena kehittämistutkimukselle ominaisena piirteenä onkin se, että prosessi tuottaa käytännön tuotoksen lisäksi tieteellistä tietoa (Juuti & Lavonen, 2012).

Tämä tutkimus toteutetaan Edelsonin (2002) ehdottaman kehittämistutkimuksen mallin mukaan. Mallissa kehittämistutkimuksessa on kolme osiota: ongelma-analyysistä, kehittämisprosessista ja kehittämistuotoksesta. Ongelma-analyysissä määritetään kehittämisen tarpeet ja tavoitteet sekä niihin liittyvät haasteet, rajoitteet ja mahdollisuudet. Ongelma-analyysi voi sisältää niin teoreettista kuin empiiristä tarveanalyysiä. Teoreettinen analyysi voi olla esimerkiksi aiheeseen liittyvien teorioiden määrittäminen aiemman tutkimustiedon perusteella. Empiirinen tarveanalyysi voi olla esimerkiksi kysely tuotoksen tuleville käyttäjille heidän tarpeistaan.

Kehittämisprosessi kuvaa kehittämisen vaiheita. Kehittämisen alussa muodostetaan kehittämissuunnitelma ongelma-analyysin perusteella. Suunnitelma ohjaa kehittämisprosessia, joka koostuu tuotoksen kehittamisestä, testaamisesta ja arvioinnista. Prosessi on joustava ja suunnitelma muokkautuu kehittämisen aikana (Pernaa, 2013). Kolmas menetelmän osio on kehittämistuotos, jossa esitellään tutkimuksen perusteella muodostunut ratkaisu ongelma-analyysissä havaittuihin haasteisiin. Tuotos on teoreettisen tiedon ja empiirisen havaintojen pohjalta muodostettu kontekstisidonnainen malli. Tuotos voi olla esimerkiksi oppimateriaali (Pernaa, 2013). Kehittämisprosessi syklisyyttä on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Kehittämistutkimuksen mallin syklisyys (Pernaa, 2013)

Tämän tutkimuksen rakenne on muodostettu Edelsonin (2012) mallin osia noudattaen, mutta se ei kuvasta täysin tutkimuksen kronologista edistymistä. Kehitystutkimuksena eri vaiheet tarkentavat aiempia vaiheita. Esimerkiksi tutkimuksen ongelma-analyysiosion teoriat tarkentuivat kehitysprosessin aikana.

## **2.2 Tutkimuskysymykset**

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää, miten hammastahnakontekstilla voidaan vaikuttaa oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista.

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Millainen kontekstipohjainen työ lisää oppijan kemian relevanssia?
2. Mihin peruskoulun opetussuunnitelman perusteiden (2014) mukaisiin yläkoulun kemian opetuksen tavoitteisiin ja sisältöalueisiin hammastahnakonteksti soveltuu?
3. Miten kehitetty työ vaikuttaa oppijan kokemukseen kemian relevanssista Stuckey (2013) relevanssimallin mukaisesti?

### 3 Ongelma-analyysi

Ongelma-analyysi on kehittämistutkimuksen ensimmäinen vaihe. Sen tavoitteena on määrittää kehittämisen tarpeet, mahdollisuudet ja haasteet. Ongelma-analyysi muodostaa kehittämisprosessille tieteellisen taustan. Tämän tutkimuksen ongelma-analyysi koostuu teoreettisesta ja pragmaattisesta ongelma-analyysistä.

Teoreettisessa analyysiosiossa käsitellään tutkimuskirjallisuuden perusteella tutkimuksen keskeisimmät käsitteet: kemian relevanssi opetuksessa, kontekstipohjainen kemian opetus ja hammastahnan kemia. Luvussa 3.3 kootaan kemian opetuksen relevanssista ja kontekstipohjaisesta kemian opetuksesta tehdyt havainnot ja vastataan tutkimuskysymykseen 1. Pragmaattisessa ongelma-analyysissä vastataan tutkimuskysymykseen 2 määrittämällä peruskoulun opetussuunnitelman perusteiden avulla, mitkä osat hammastahnan kemiasta soveltuu yläkoulun kemian opetukseen. Lisäksi osiossa rajataan kehitettävää työtä tehtyjen havaintojen perusteella.

#### 3.1 Kemian relevanssi

Useiden tutkimusten mukaan kemian huonojen oppimistulokset ja oppilaiden kiinnostuksen puute johtuu osittain siitä, että oppilaat eivät koe kemiaa merkitykselliseksi itselleen tai yhteiskunnalle (Childs ym., 2015; Gilbert, 2006; Stuckey ym., 2013). Ratkaisuksi on ehdotettu kemian tekemistä oppilaille relevantiksi. Relevanssin määritelmä ei kuitenkaan ole selkeä ja yksikäsitteinen. Eri koulutukseen vaikuttavat tahot saattavat käyttää relevanssitermiä ilman tarkempaa määrittelyä. Tällöin termi jää epämääräiseksi eikä sen soveltaminen ole käytännöllistä, koska ei ole yhteistä käsitystä siitä, mihin termillä viitataan (Stuckey ym., 2013). Relevanssi voidaan ymmärtää esimerkiksi seuraavia tavoilla (Eilks & Hofstein, 2015):

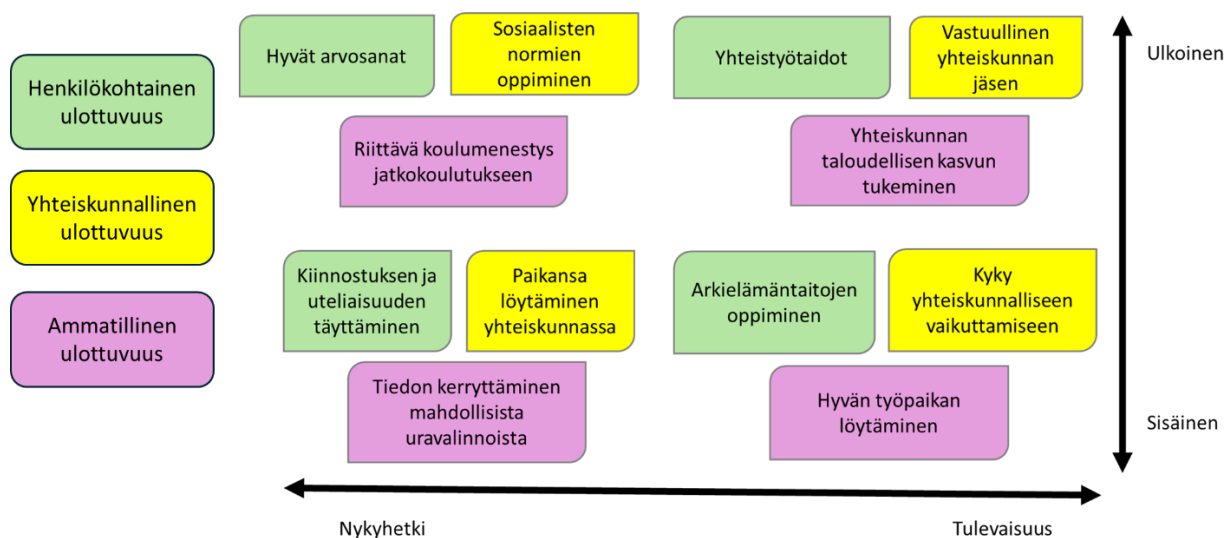
1. Synonyyminä oppijan kiinnostukselle
2. Oppilaiden käsityksenä oppimisen merkityksellisyydestä
3. Oppilaiden tarpeiden huomioimisena
4. Tieteen ja oppijan merkitys osana yhteiskunnallisia, taloudellisia, ympäristöllisiä haasteita ja niiden ratkaisuja

## 5. Moniulotteisena yhdistelmänä edellä mainitusta määritelmistä

Tässä tutkimuksessa relevanssi on määritelty Stuckeyn ym. (2013) ehdottaman relevanssimallin mukaisesti. Kyseinen määritelmä valittiin tutkimuksen pohjaksi sen takia, että se tarjoaa moniulotteisen mallin käsitellä relevanssia oppijan omana kiinnostuksena ja kokemana merkityksellisyytenä sekä ympäröivän yhteisön asettamina toiveina ja vaatimuksina. Lisäksi mallia on hyödynnetty laajasti kemian opetuksen tutkimuksissa (esim. Gupte ym., 2021; Halonen & Aksela, 2018; Howell ym., 2021; Pernaa ym., 2022). Relevanssimalli esitellään luvussa 3.1.1.

### 3.1.1 Relevanssimalli

Stuckeyn ym. (2013) määrittelemässä tieteen opetus on merkityksellistä, kun opetuksella on positiivia vaikutuksia oppijan elämään. Relevanssimallissa opetuksen merkityksellisyys voidaan luokitella kolmeen eri tasoon, jotka ovat henkilökohtainen relevanssi, yhteiskunnallinen relevanssi ja ammatillinen relevanssi. Mallissa tasoja voidaan tarkastella ajallisen ulottuvuuden ja sisäisesti tai ulkoisesti määritetyn relevanssin avulla. Ajallisen ulottuvuuden avulla relevanssin tasoihin liittyviä asioita voidaan luokitella sen mukaan, liittyvätkö ne nykyhetkeen vai tulevaisuuteen. Sisäisen ja ulkoisen relevanssin ulottuvuus huomioi sen kuka määrittelee asiat merkityksellisiksi. Sisäinen relevanssi on oppijasta itselleen merkityksellisiksi määrittämiä asioita ja ulkoinen relevanssi on ympäröivän yhteiskunnan ja toimijoiden merkityksellisiksi määrittelemiä asioita. Relevanssimalli on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Relevanssimallin tasot ja ulottuvuudet (Stuckey ym., 2013)

Henkilökohtaisesti relevantti opetus liittyy oppijan omiin kiinnostuksen kohteisiin ja arkielämässä tarvitsemiinsa taitoihin ja asioihin. Tason sisäiseen ulottuvuuteen liittyvät oppijan kiinnostuksen ja uteliaisuuden ruokkiminen, innostuminen ja oppijan arkielämässä tarvitsemiensa taidot niin nykyhetkessä kuin tulevaisuudessa. Ulkoisen ulottuvuuden osalta opetus on relevanttia, jos se edistää oppijan saamia arvosanoja tai tukee oppijan vastuullisista toimintaa.

Yhteiskunnallisesti relevantti opetus vaikuttaa oppijan rooliin yhteiskunnassa. Sisäisen ulottuvuuden osalta opetus tukee yksilöä löytämään paikkansa yhteiskunnassa ja vaikuttamaan yhteiskunnan toimintaan omien tavoitteidensa mukaisesti. Ulkoisen ulottuvuuden osalta opetuksen tulee opettaa taitoja pärjätä yhteiskunnassa ja valmistaa oppijaa vastuulliseksi kansalaiseksi.

Ammatillinen relevanssi liittyy oppijan ammatilliseen osaamiseen ja pätevyYTEEN. Sisäiseen ulottuvuuteen liittyvät yksilön ammatilliset tarpeet, kuten tiedot uramahdollisuuksista ja työllistymiseen tarvittavat taidot. Ulkoisen ulottuvuuteen puolestaan liittyvät yhteiskunnan ja yritysten tarve saada oppijasta tuottava yhteiskunnan jäsen ja työntekijä sekä niihin liittyvien vaatimusten, kuten ammattiosaamisen tai jatko-opiskeluun riittävien arvosanojen, täyttäminen.

Relevanssin tasot voivat olla osittain päällekkäisiä (Stuckey ym., 2013). Käsiteltävä asia voi olla sekä oppilaasta henkilökohtaisesti kiinnostava että yhteiskunnallisesti merkittävä. Esimerkiksi lääkkeiden opiskelu voi olla oppilaasta innostavaa, lisätä oppilaan tietoa kemiaan liittyvistä ammasteista ja ehkäistä lääkkeisiin liittyviä ennakkoluuloja ja negatiivisia käsityksiä, kuten rokotevastaisuutta.

### 3.1.2 Relevanssi kemian opetuksen tutkimuksessa

Relevanssia on tutkittu merkittävästi kemian opetuksen tutkimuksessa. Tutkimuksissa on pyritty selvittämään muun muassa aiheita ja opetustapoja, jotka oppilaat kokevat relevantteiksi. Suomalaisten oppilaiden kokemuksia luonnontieteiden opetuksen relevanssista on kartoitettu osana kansainvälisistä ROSE-kyselyä (*Relevance of Science Education*) (Lavonen ym., 2008). Nimestään huolimatta kyselyn toteuttaneet tutkijat huomauttavat kyselyn keskittyvän mittaamaan oppilaiden kiinnostusta (Sjøberg & Schreiner, 2010), joka on osa

relevanssin henkilökohtaista tasoa. Kysely koostui yli sadasta väittämästä, joissa kartoitettiin oppilaiden kiinnostusta eri aiheista. Väittämistä kymmenen liittyi kemian opetuksen aiheisiin. Väittämiin vastattiin neliportaisella asteikolla (1 = ei kiinnostava, 2 = vähän kiinnostava, 3 = kiinnostava, 4 = erittäin kiinnostava). Vastajat olivat noin 15-vuotiaita oppilaita 40 maasta. Suomalaisia vastaajia oli 3626. ROSE-kyselyn kemiaan aiheisiin liittyvät suomalaisten oppilaiden tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Suomalaisten oppilaiden näkemyksiä kemian aiheiden relevanssista ROSE-kyselyn perusteella (muokattu Lavonen ym., 2008)

ROSE-kyselyn kemiaan liittyvä väittämä	Aiheen kiinnostavuus ROSE-kyselyn perusteella (1 = ei kiinnostava, 4 = erittäin kiinnostava, n = 3626 oppilasta)
Tappavat myrkyt ja mitä ne tekevät ihmiskehölle	2,7
Kuinka erilaiset huumeaineet voivat vaikuttaa ihmiskehoon	2,7
Kuinka alkoholi ja tupakka voivat vaikuttaa ihmiskehoon	2,6
Mitä voidaan tehdä, jotta voidaan turvata puhdas ilma ja juomavesi	2,6
Biologiset ja kemialliset aheet ja mitä ne voivat tehdä ihmiskehölle	2,5
Räjähävät kemikaalit	2,4
Otsonikerros ja kuinka ihmiset voivat vaikuttaa siihen	2,2
Kasvihuoneilmiö ja miten ihmiset voivat vaikuttaa siihen	2,2
Kemikaalit, niiden ominaisuudet ja kuinka ne reagoivat	2,0
Puhdistusaineet, saippuat ja kuinka ne toimivat	1,9

ROSE-kyselyn tulosten perusteella suomalaiset oppilaat eivät koe luonnontieteitä ja kemiaa erityisen relevanttina. Vastaava ilmiö on havaittavissa muissakin kehittyneissä maissa. oppilaita kiinnostavat ihmiseen liittyvät aiheet, kuten myrkkyjen ja päihteiden vaikutukset ihmiskehoon (Lavonen ym., 2008). Myrkkyihin ja päihteisiin liittyy myös vaarallisuuden tunne, jonka on havaittu kiinnostavan myös muissa tutkimuksissa (Osborne & Collins, 2001). Vahvemmin perinteisen yläkoulun kemian opetuksen sisältöihin liittyvät aiheet, kuten ”kemikaalit, niiden ominaisuudet ja kuinka ne reagoivat” ja ”puhdistusaineet, saippuat ja kuinka ne toimivat”, koettiin vain vähän mielenkiintoisiksi.

Opetettavien aiheiden liittyminen oppilaiden omiin kokemuksiin on havaittu lisäävän kemian merkitystä myös muissa tutkimuksissa (Broman ym., 2011, 2022; Howell

ym., 2021). Henkilökohtaisen relevanssin ulottuvuuden huomioon ottaminen on oleellista opetuksen suunnittelussa. Oppilaat saattavat kokea myös yhteiskunnalliset aiheet, kuten ilmastonmuutoksen, relevanteiksi, jos niitä lähestytään oppilaan kokemuksien kautta ja pohtimalla niiden vaikutusta oppilaiden omaan elämään.

Oppilaiden henkilökohtaisen relevanssin huomioisen lisäksi kokeellinen ja tutkimuksellinen työskentely on todettu lisäävän kemian opetuksen innostavuutta (Walan ym., 2016). Kokeellinen työskentely mahdollistaa oppilaan oman työskentelyn ja omien havaintojen tekemisen opettavasta aiheesta, jolloin opetus saatetaan kokea relevantimmaksi (Hofstein ym., 2013).

### **3.2 Kontekstipohjainen opetus**

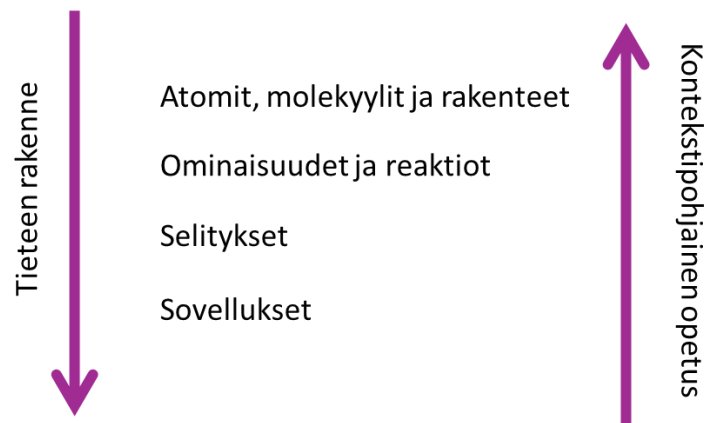
Kontekstipohjainen opetus (eng. *context-based learning*) on opetusmenetelmä, jossa opettavia aihetta lähestytään jonkin arkielämän tai yhteiskunnallisen näkökulman avulla. Kontekstipohjainen opetus pyrkii vastaamaan opetuksen keskeisiin haasteisiin, joita ovat opetussisältöjen liiallisuus, opettavien tietojen pirstaleisuuteen, merkityksellisyyden puutteeseen, soveltamisen haasteisiin ja epäoleellisiin painotuksiin (Gilbert, 2006).

Tieteen jatkuvan kehityksen seurauksena tieto lisääntyy jatkuvasti ja tieteen sovelluskohteiden määrä moninaistuu. Tämä aiheuttaa painetta lisätä koulujen opetussisältöihin yhä lisää opetettavia aiheita. Opetukseen käytettävä aika ei kuitenkaan ole merkittävästi muuttunut, jolloin opetettavista asiat jäävät tieteellisestä yhteydestään irrallisiksi faktoiksi. (De Vos ym., 2014.) Oppilaat eivät pysty muodostamaan hajanaisista tiedoista kokonaisuutta, joka auttaisi heitä yhdistämään opitut tiedot toisiinsa ja oppilaiden aiempaan osaamiseen. Tällöin riskinä on, että oppilaiden osallisuus heikkenee ja opitut asiat unohtuvat nopeasti (Gilbert ym., 2011).

Opetettavien aiheiden pirstaleisuus ja etäisyys oppilaiden omista kokemuksista ja mielenkiinnon kohteista vähentää opettavien aiheiden relevanssia. Oppilaat eivät koe opetusta itselleen merkitykselliseksi tai tarpeelliseksi elämässään. (Taconis ym., 2016) Useimmat opiskelijat luopuvat kemian opiskelusta sen muuttuessa vapaaehtoiseksi tai opiskelivat sitä, koska se on esivaatimuksena opintoihin, joista he ovat aidosti kiinnostuneita, kuten lääketieteelle. Lisäksi oppilailla on vaikeuksia

soveltaa oppimiaan taitoja ja tietoja alkuperäisestä asiayhteydestä muihin tilanteisiin. Tämä lisää oppilaiden kokemusta opetettavien aiheiden pirstaleisuudesta ja merkityksettömyydestä. Tilanne ei myöskään edistä yleissivistävän opetuksen tavoitteesta tarjota osaamista elämää varten. (Gilbert, 2006)

Viiden perinteisen opetukseen liittyvä käytäntö on se, että siinä tiedettä opetetaan tieteen rakenteen avulla, jolloin opetuksessa lähdetään liikkeelle kemian rakenne osista, joista muodostetaan suurempia tieteellisiä kokonaisuuksia. Aiheisiin liittyviä sovelluksia mainitaan lopuksi. Lähestymistavan ongelmana on, että se ei innosta oppilaita, jotka eivät ole kiinnostuneet tieteestä tai tavoittele uraa tieteen alalla. (Gilbert, 2006) Kontekstipohjaisessa opetuksessa tieteellisiä käsitteitä ja sisältöä tuodaan opetukseen käsiteltäessä niihin liittyvää kontekstia ja vain kontekstin ymmärtämisen vaatimalla tasolla. Tällöin tieteellinen tieto yhdistyy oppilaan omiin kokemuksiin ja oppija ymmärtää paremmin, mihin hän tarvitsee opettavaa tietoa. (Eilks ym., 2013) Lähestymistavan muutosta on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Tieteen rakenteen ja kontekstipohjaisen opetuksen mukaiset lähestymistavat (muokattu (Eilks ym., 2013))

Kontekstipohjainen opetus on menetelmänä epämääräinen, sillä kontekstien luonne ja rooli opetuksessa vaihtelee (Gilbert, 2006). Konteksti voi olla esimerkiksi konkreettinen arkielämän tuote tai yhteiskunnallisesti merkittävä ongelma, kuten ilmastonmuutos. Tapa hyödyntää konteksteja voi erota lähestymistavasta toiseen, sillä konteksti voi olla koko opetusta ohjaava ympäristö tai vain sivulauseessa mainittu asia, joka ei varsinaisesti vaikuta opetukseen. (Bennett, 2016) Kontekstien

määrittely on opetuksen kannalta oleellista, sillä valittu konteksti vaikuttaa niin opetettaviin aiheisiin kuin opetuksen tuloksellisuuteen (Gilbert, 2006).

Gilbert (2006) on luokitellut kontekstit neljään eri malliin:

1. Tieteellisen käsitteen käytännön sovelluksen esimerkkinä
2. Käsitteiden ja sovellusten välisenä yhteytenä
3. Oppijan henkilökohtaisena ajatustyönä
4. Yhteiskunnallisena aiheena

Ensimmäinen malleista ei varsinaisesti ole kontekstipohjainen menetelmä, sillä siinä konteksti tuodaan vasta opetetun tieteellisten käsitteiden jälkeen havainnollistamaan, miten opetettu asia liittyy oppilaan omaan elämään tai laajemmin yhteiskuntaan. Tämä on ristiriidassa kontekstipohjaisen opetuksen olemuksen kanssa, koska kontekstin on tarkoitus ohjata opetusta (Tal ym., 2021).

Mallissa 2 konteksti on tieteelliseen käsitteeseen liittyvä sovelluskohde, jonka avulla opittavaa sisältöä lähestytään. Teoriasisältö opetetaan sovelluksen yhteydessä, jolloin mallin mukaisessa kontekstipohjaisessa opetuksessa kontekstien valinta vaikuttaa opettaviin aiheisiin. Kontekstipohjaisen opetuksen tutkimuksen käsittelemistä konteksteista iso osa voidaan luokitella mallin 2 mukaisiksi konteksteiksi (Bennett, 2016).

Mallin 3 mukaisen konteksti muodostuu oppilaan henkilökohtaisen ajatustyön avulla. Esimerkiksi tarinallisuuden avulla historian tapahtumista voidaan luoda oppilasta puhuttelevia tapahtumia. Mallin rajoitteena on se, että oppilas ei itse osallistu kontekstin luomiseen yhteiskunnallisella tasolla.

Viimeisessä mallissa kontekstit ovat yhteiskunnallisesti merkittäviä ja vaikuttavat yhteisöjen elämään. Mallin 4 mukaisia konteksteja ovat esimerkiksi geenimuuntelu ja sen mahdollisuudet ja uhat ihmiskunnalle, vetytalous tai ilmastonmuutos. Mallin kontekstien oletetaan olevan oppilaalle merkityksellisiä, koska ne vaikuttavat ympäröivään yhteiskuntaan. Kontekstien käsittelyssä tieteellisiä sisältöjä voidaan hyödyntää haasteiden ratkaisussa (Gilbert, 2006). Myöhemmässä tutkimuksessaan Gilbert muiden tutkijoiden kanssa (2011) tarkensi neljättä mallia. Heidän mukaansa neljäs malli tukee yhdessä kontekstissa opittuja taitoja ja tietoja toisiin konteksteihin.

Gilbertin (2013) mukaan neljättä mallia voidaan pitää varsinaisena kontekstipohjaisena oppimisena, joka liittyy opettavan aiheen aidosti oppijalle relevanttiin kontekstiin ja hyödyntää kontekstiin sopivia opetusmenetelmiä.

Tutkimuksien mukaan kontekstipohjainen opetus voi parantaa oppilaiden kokemusta kemian mielekkyydestä perinteiseen opetukseen verrattuna (Bennett, 2016; Sheldrake ym., 2017). Syiksi positiivisemmasta kokemuksesta on esitetty esimerkiksi opetusaktiviteettien mielenkiintoisuus ja opettavien asioiden merkitys oppilaan omassa elämässä (Bennett & Holman, 2003). Myös positiivisista oppimistuloksista on saatu viitteitä (Tutal, 2023). Aiemmista tutkimuksista parhaiten ovat onnistuneet ne, jotka ovat tarjonneet opettajille valmiita opetusmateriaaleja (Bennett, 2016). Opettajien on vaikea hyödyntää tieteellisiä malleja, jotka ovat liian kaukana käytännön opetuksesta.

Kontekstin valinta on merkittävä osa kontekstipohjaista opetusmenetelmää. Valinta ohjaa opetuksen sisältöä ja käsiteltäviä kemian teoria-aiheita. Opetuksessa hyödynnettävän kontekstin valitsee yleensä opettaja, jonka omat näkemykset, uskomukset, arvot ja kiinnostuksen kohteet vaikuttavat kontekstien valintaan. Oppilaat eivät välttämättä koe samoja asioita merkityksellisiksi, jolloin kontekstipohjainen lähestymistapa ei mahdollisesti lisää oppilaiden kokemusta opetusta tähdelliseksi (Bennett & Holman, 2003).

### 3.2.1 Hammastahna ja kosmetiikka kemian opetuksen kontekstina

Hammastahnan hyödyntämistä kemian opetuksen kontekstina ei ole laajasti tutkittu. Aiheen tutkimisella on siten tieteellistä arvoa uutena tutkimuskohteena. Opetuksen tutkimuksen ERIC-tietokannassa löytyy vain neljä kemian opetukseen liittyvää tutkimusta hakusanalla ”toothpaste”. Niistä kahdessa hyödynnetään opetusmenetelmänä tutkivaa oppimista. Toisessa tutkitaan eri merkkisten hammastahnojen suojaavien vaikutusten eroja (Cheung, 2005) ja toisessa mikrohelmien käyttöä kosmetiikantuotteissa, kuten hammastahnoissa (Hoffman & Turner, 2015). Kaksi muuta tutkimusta esittelevät kokeellisen aktiviteetin hammastahnoihin liittyen. Toisessa hammastahnojen hampaita suojaavaa vaikutusta tutkitaan pH:n muutosten avulla (McShane, 1991) ja toisessa valmistetaan itse hammastahnaa ja verrataan sen puhdistustehoa kaupalliseen hammastahnaan (Trantow, 2002). Vain mikrohelmitutkimuksessa selvitettiin materiaalin vaikutusta

opiskelijoiden osaamiseen ja kokemukseen. Saadut oppimistulokset olivat positiivisia ja opiskelijat arvostivat oikean elämän kontekstin hyödyntämistä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan eroteltu hammastahnaa muista mikrohelmiä sisältävistä tuotteista, joten ei ole selvää käyttivätkö opiskelijat koetilanteessa hammastahnaa vain jotain muuta kosmetiikan tuotetta.

Kosmetiikka-aihealueesta on tehty enemmän tutkimuksia. Tutkimusten mukaan opiskelijat pitävät kosmetiikkaa kiinnostavana aiheena. Kosmetiikkaa on esimerkiksi hyödynnetty reaktiokinetiikan (Cabassa & Haas, 2020) ja orgaanisen kemian (Liao & Lien, 2011) opetukseen. Marks ja Eilks (2010) havaitsivat hajusteita käsitelleessä tutkimuksessaan, että aihealue on oppilaista motivoiva, koska se liittyy heidän arkeensa ja oikeaan elämään. Tutkijoiden mukaan opetuksen positiivisia tuloksia paransi se, että aihetta käsiteltiin myös kriittisestä näkökulmasta ja opiskelijoille annettiin mahdollisuus ilmaista oma näkemyksensä. Hammastahnalla voidaan olettaa olevan saman suuntaisia mahdollisuuksia toimia kiinnostava arkielämän kontekstina.

### **3.3 Relevantti kontekstipohjainen kemian opetus (TK1)**

Kontekstipohjainen opetus on opetusmenetelmä, jossa lähestytään opetettavia aiheita niihin liittyvien kontekstien avulla. Menetelmän avulla pyritään vastaamaan haasteeseen, jonka mukaan kemian opetus ja sen sisällöt eivät ole oppijoiden mielestä merkityksellisiä. Kontekstipohjaisen opetuksen avulla pyritään parantamaan oppimistuloksia ja opettamaan oleellisia asioita kemiasta (De Vos ym., 2014). Kontekstipohjaiselle opetukselle ei kuitenkaan ole tarkkaa määritelmää ja erilaisia toteutustapoja on esitetty paljon. Kontekstipohjaisia opetusmenetelmiä kohtaan onkin esitetty kritiikkiä siitä, että ne eivät aidosti vastaa menetelmän tavoitteisiin ja tee opetuksesta relevanttia (Gilbert ym., 2011).

Relevantin kemian opetuksen tulisi huomioida relevanssin eri ulottuvuuksia (kts. luku 3.1). Opetuksen tulisi olla oppilaalle merkityksellistä henkilökohtaisella tasolla sekä tarjota yhteiskunnallisesti ja ammatillisesti merkittävää osaamista. Sen tulisi huomioida oppilaan yksilöllisten tarpeiden lisäksi myös yhteiskunnan ja siten esimerkiksi opetussuunnitelmien asettamat tavoitteet (Stuckey ym., 2013). Tämä voi olla haastavaa relevanssin ulottuvuuksien välisten ristiriitojen takia. Relevantissa kontekstipohjaisessa kemian opetuksessa valittujen kontekstien ja hyödynnettyjen

opetustapojen tulee olla perusteltuja. Kontekstien tulee olla yhteiskunnallisesti tai oppilaille henkilökohtaisesti merkityksellisiä (Eilks & Hofstein, 2015). Kontekstin arvon tulisi olla myös oppilaalle ilmeinen. Opetuksellisten menetelmien tulisi tukea asetettujen tavoitteiden saavuttamista ja huomioida kontekstille ominaisia piirteitä (Gilbert ym., 2011). Hyödynnettäviä konteksteja tulisi valita siten, että ne tukevat oppimista. Kontekstin käsittelyn tulee huomioida oppilaiden osaamistaso (Bennett, 2016). Kontekstin ymmärtämiseen ei tulisi tarvita useita uusia sisältöasioita vaan niihin tulisi liittää yksi uusi sisältöasia kerrallaan. Tällöin opittavien asioiden sisäistämisestä ei tule liian monimutkaista. Kontekstissa opittuja asioita ja taitoja tulisi pystyä siirtämään myös muihin konteksteihin, jotta oppimisesta ei tule pirstaleista (Sheldrake ym., 2017).

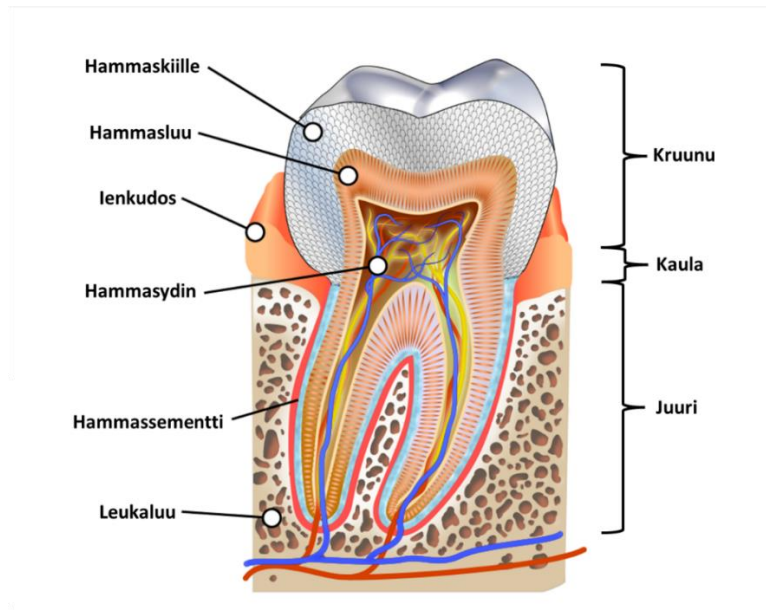
Vastaavasti kemian opetuksen tutkimuksen voidaan vaatia sen olevan relevanttia. Relevanssin tutkimuksiin tulisi huomioida opettajien haasteet ottaa käyttöön ja soveltaa opetuksen teorioita. Opettajat tarvitsevat valmiita opetusmateriaaleja ja -esimerkkejä teorian hyödyntämiseksi (Bennett ym., 2007). Täten tutkimuksen tulee tarjota kehittää käytännön tietoa ja materiaaleja, jotta tuotettu tieto on itsessään relevanttia.

### **3.4 Hammaskiilteen kemiallinen koostumus ja reikiintymisen kemia**

Tässä luvussa kartoitetaan hammaskiilteen kemiallisesta koostumuksesta ja hampaiden reikiintymisen kemiasta. Aiheita on oleellista käsitellä, koska hammastahna on kehitetty vuorovaikuttamaan hampaan kiilteen kanssa ja ehkäisemään reikiintymistä. Tässä ja seuraavassa luvussa hyödynnetään soveltuvien osien tutkijan omaa kandidaatintutkimusta *Hammastahnan ja reikiintymisen kemia* (Mälkönen, 2023), jossa on tehty narratiivinen kirjallisuuskatsaus hammaskiilteen ja -tahnin kemiallisesta koostumuksesta sekä reikiintymisen kemiasta.

#### **3.4.1 Hammaskiilteen kemiallinen koostumus**

Hammas koostuu kruunusta, kaulasta ja juuresta. Kruunu on hampaan näkyvä osa, jonka valkea ulkokuori on hammaskiillettä. Hammaskiilteen alla on varsinainen hammasluu ja sen sisällä hammasydin. Hammasytimessä on hampaan verisuonet ja hermot. Hampaan kaula on ikenen sisällä oleva osa ja juuri on leukaluuhun kiinnittynyt osa. (Mount ym., 2016.) Kuva 4 havainnollistaa hampaan rakennetta.



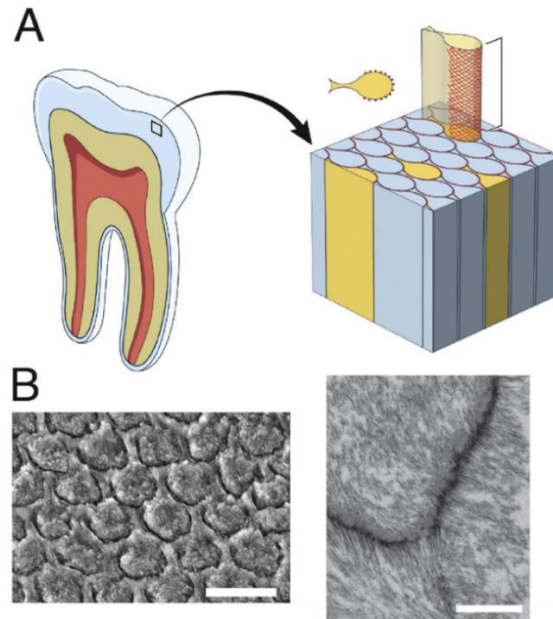
Kuva 4. Hampaan rakenne. Muokattu "Human tooth diagram-en.svg from Wikimedia Commons by K. D. Schroeder, CC-BY-SA 4.0"

Hampaiden reikiintyminen eli karies ja hampaiden värjäytyminen johtuvat näkyvää hammasta suojaavan hammaskiilteen muutoksista (Joiner, 2010; Mount ym., 2016). Reikiintymisessä hammaskiille kuluu ja siihen muodostuu aukko, jolloin kovaa kiillettä herkempi hammasluku paljastuu ja altistuu vauriolle (Epple ym., 2022). Tämän takia hammaskiilteen kemiallinen koostumus ja ominaisuudet ovat oleellisia hammastahnan kemiaa käsiteltäessä.

Hammaskiilteestä 96 prosenttia on biologista apatiittia, kolme prosenttia vettä ja vajaa prosentti orgaanista ainesta, erityisesti proteiineja (Teruel ym., 2015; Duverger ym., 2016). Biologinen apatiitti on epäpuhtauksia sisältävää kalsiumhydroksiapatiittia. Ideaalisen kalsiumhydroksiapatiitin kemiallinen kaava on  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Biologisessa apatiitissa osa kalsiumioneista on korvaantunut muun muassa natrium- ja magnesiumioneilla ja osa hydroksidi-ioneista on korvaantunut muun muassa karbonaatti- ja fluoridi-ioneilla. Hilarakenteesta saattaa puuttua tai sisältää ylimääräisiä ioneja stoikiometriseen apatiittiin verrattuna. (Teruel ym., 2015.)

Hammaskiilteessä biologinen apatiitti muodostaa heksagonillisia kiteitä (Combes ym., 2016), joista rakentuu muutaman mikrometrin kokoisia sauvoja (Teruel ym., 2015). Apatiittisauvojen välissä on orgaanista ainesta, joka sitoo sauvat yhteen ja vahvistaa rakenteen kovuutta (Duverger ym., 2016). Hammaskiilteen mikrorakenne

on esitetty kuvassa 5. Kuvan 5 elektronimikroskooppikuvissa apatiittisauvat ovat vaaleampia kuin niiden välillä oleva orgaaninen sidosaines.



Kuva 5. Hammaskiilteen mikrorakenne. Osassa A piirros kiilteen mikrorakenteesta ja osassa B elektronimikroskooppikuvat apatiittisauvoista ja niiden välisestä orgaanisesta aineesta. Alavasemman kuvan skaala on 10  $\mu\text{m}$  ja alaoikean 1  $\mu\text{m}$ . Muokattu (Duverger ym., 2016).

Hammaskiilteen rakenne ei ole homogeeninen. Kuten kuvan 5 elektronimikroskooppikuvissa ilmenee, kiilteessä on kiteisiä apatiittialueita ja orgaanisesta aineesta koostuvia välialueita. Hammaskiilteen heterogeenisuuden sekä biologisen apatiitin sisältämien epäpuhtauksien, orgaanisen aineksen ja veden takia kiilteen kemialliset ominaisuudet eroavat jonkin verran mineraalisesta kalsiumhydroksiapatiitista, mikä on merkittävää kiilteen käyttäytymistä tukittaessa. (Robinson ym., 2000.)

### 3.4.2 Reikiintymisen kemia

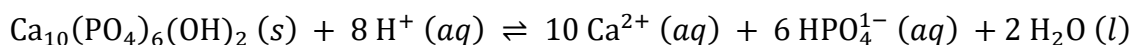
Hampaiden reikiintyminen johtuu hammaskiilteen kulumisesta, jolloin kiilteeseen ja sen alla olevaan hammasluuhun muodostuu reikä. Hammaskiille on kovaa ainesta ja kestää hyvin mekaanista kulutusta. Tavallinen ruoan pureskelu ei vaurioita hampaita. Hampaiden mekaanista kulumista, esimerkiksi hampaiden narskutuksen takia, ei käsitellä tarkemmin tässä tutkielmassa. Reikiintyminen aiheutuu kiilteen kemiallisesta kulumisesta. Kiille on altis happamille aineille. Hammaskiilteen

apatiitti liukenee happoihin, mikä aiheuttaa kiilteen haurastumista ja reikien muodostumisen hampaan pintaan. (Robinson ym., 2000; Epple ym., 2022).

Hammaskiille altistuu hapoille joko suoraan happamien ruokien ja juomien takia ja suun bakteerien tuottamien happojen takia (Lelli ym., 2014). Ruokien ja juomien sisältämien happojen aiheuttamaa kulumista kutsutaan hammaseroosioksi (Lussi, 2014) ja bakteerien tuottamien happojen vaikutusta kariekseksi (Epple ym., 2022). Kariesta aiheuttavat bakteerit elävät hampaiden pinnalla ja tuottavat happoja hyödyntäessään suuhun jääneitä ravinteita. Happojen aiheuttaja vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka kauan kiille on altistuneena hapoille (Epple ym., 2022). Ruokien ja juomien sisältämät hapot ovat kosketuksissa hampaiden kanssa vain hetken syönnin ja juonnin aikana. Bakteerit tuottamat hapot muodostuvat hitaammin bakteerien hyödyntäessä suuhun jääneitä ravinteita ja vaikuttavat pidempään, sillä ne säilyvät bakteerien tuottamassa biofilmissä hampaiden pinnalla (Meyer ym., 2021).

Hammaskiilteen kemialliset ominaisuudet eroavat hieman mineraalisesta apatiitista. Hammaskiilteen koostumus ei ole identtinen kaikilla ihmisillä vaan elintavat ja altistuminen eri aineille voi vaikuttaa hammaskiilteen koostumukseen (Robinson ym., 2000). Jotta kiilteen kemiaa voitaisiin käsitellä riittävän yksinkertaisella tasolla, hammaskiilteen liukenemisen ja seuraavassa luvussa käsiteltävän fluorin ehkäisevää vaikutuksen kemiaa käsiteltäessä hammaskiilteen oletetaan olevan stoikiometristä kalsiumhydroksiapatiittia,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Todellisuudessa kemialliset reaktiot suussa ja hammaskiilteessä ovat hyvin monimutkaisia. (Loveren, 2013)

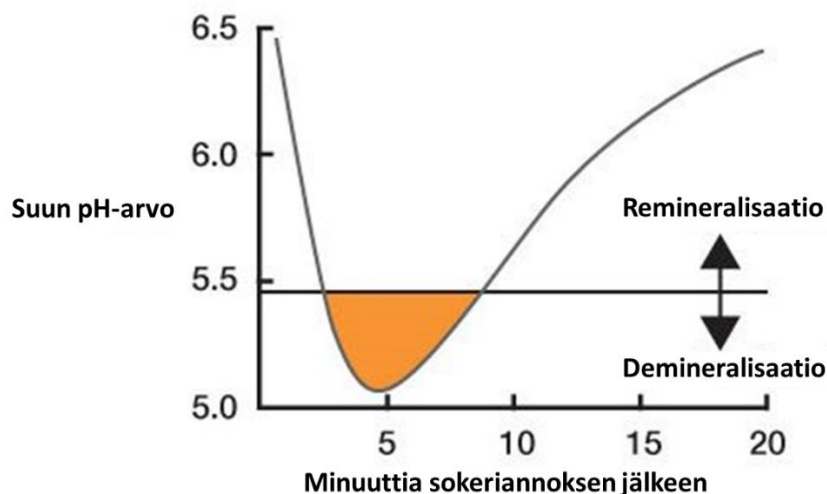
Hydroksiapatiitin liukenemisen tasapainoreaktio happamissa liuksissa voidaan esittää seuraavasti:



Hydroksiapatiitti liukeneminen tapahtuu pH-arvon laskiessa alle 5,5 (Epple ym., 2022). Tällöin kiinteä hydroksiapatiitti reagoi hapon kanssa muodostaen kalsium- ja vetyfosfaatti-ioneja sekä vettä. Hammaskiilteen (ja -luun) liukenemista happamiin liuksiin kutsutaan hammaskiilteen (ja -luun) demineralisaatioksi. Demineralisaatio on tasapainoreaktio ja pH-arvon ollessa yli 5,5 reaktio tapahtuu toiseen suuntaan. Tätä apatiitin korjaantumista kutsutaan remineralisaatioksi. Remineralisaatioreaktio tapahtuu kuitenkin hitaasti. Hilarakenteen virheiden takia hammaskiilteen

kemiallisen ominaisuudet eroavat ideaalisesta hydroksiapatiitista ja biologisen apatiitin liukoisuus happamiin liuoksiin on arvioitu hieman korkeammaksi hydroksiapatiittiin verrattuna (Robinson ym., 2000). Todellisuudessa hammaskiilteen liukeneminen ei johdu ainoastaan suun pH-arvosta. Hapot eroavat toisistaan niiden kemialliselta luonteelta, mikä vaikuttaa niiden kykyyn liuottaa hammaskiillettä (Epple ym., 2022).

Ihmisellä on luonnollinen suojausmekanismi hammaskiilteen demineralisaatiota vastaan. Sylki toimii puskuriliuoksena, joka pyrkii estämään suun pH-arvon laskun. Sylki sisältää myös kalsium- ja fosfaatti-ioneja, mikä vaikuttaa tasapainoreaktioon vähentäen kiilteen liukenemistä ja edistäen remineralisaatioita. Tarvittavien ionien lisäksi syljessä on proteiineja, josta stabiloivat ionit estävät niitä saostumasta niukkaliuokoiseksi kalsiumfosfaatiksi. Proteiinien vaikutuksesta kalsium- ja fosfaatti-ionit ovat biosaatavassa muodossa. (Cochrane ym., 2010.) Ruokailun jälkeistä happohyökkäystä eli suun happamuuden muuttumista ja syljen puskurointikykyä voidaan havainnollistaa Stephanin käyrällä, joka on esitetty kuvassa 6. Kuvaaja havainnollistaa suun pH-arvon laskua sokeriannoksen nauttimisen jälkeen ja syljen palauttavaa vaikutusta.



Kuva 6. Stephanin käyrä, joka kuvastaa happohyökkäyksen vaikutusta suun pH-arvoon ajan funktiona. Muokattu <https://www.wrigleyoralhealthcare.co.uk/research-and-evidence>, haettu 7.8.2023.

### 3.5 Hammastahnan kemia

Hammastahnalla on monia eri tehtäviä. Se muun muassa puhdistaa, estää reikiintymistä, korjaa kiilleauriota, estää pahanhajuista hengitystä ja valkaisee hampaita. Näiden lisäksi hammastahnan koostumuksen, suutuntuman, maun ja ulkonäön halutaan olevan tietyntylaisia. Haluttujen ominaisuuksien takia hammastahna sisältää useita eri ainesosia. Tässä luvussa esitellään tärkeimmät ainesosat, jotka on jaoteltu kahteen ryhmään: aktiivisiin aineisiin (luku 3.4.1) ja apuaineisiin (luku 3.4.2).

#### 3.5.1 Aktiiviset aineet

Aktiiviset aineet ovat terapeuttisia aineita, joiden tehtävänä on edistää hampaiden hyvinvointia tai vaikuttaa niiden ulkonäköön. Tässä tutkielmassa ne on jaoteltu mukaisesti fluoridiyhdisteisiin, plakin ja hammaskiven muodostumista estäviin aineisiin, pahan hajun poistoaineisiin, hionta-aineisiin ja valkaisuaineisiin. Jaottelu perustuu Lippertin (2013) muodostamiin keskeisimpiin ainesosaryhmiin.

##### 3.5.1.1 Fluoridiyhdisteet

Fluoridiyhdisteet ovat olleet keskeinen ainesosa hammastahnoissa 1960-luvulta alkaen. Fluoridin on todettu suojaavan hammasta reikiintymiseltä ja korjaavan hammaskiillettä (Robinson ym., 2000; Epple ym., 2022). Yleisimpiä hammastahnojen sisältämiä fluoridiyhdisteitä ovat natriumfluoridi NaF, natriummonofluorofosfaatti  $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$  ja tinafluoridi  $\text{SnF}_2$  (Loveren, 2013).

Fluoridiyhdisteet ovat keskeinen osa hammastahnojen hampaita suojaavaa vaikutusta (Loveren, 2013). Fluoridin on todettu auttavan ehkäisemään reikiintymistä ja edistämään kiilteen remineralisaatiota, mutta sen vaikutusmekanismeista ei ole varmuutta (Epple ym., 2022). Ehdotettuja mekanismeja ovat muun muassa kiilteen hydroksiapatiitin korvautuminen fluoroapatiitilla ja fluoridipintakerroksen muodostuminen (Lussi ym., 2012).

Hydroksiapatiitin korvautuminen fluoroapatiitilla perustuu fluoroapatiitin heikompaan liukoisuuteen happamiin liuoksiin. Fluoroapatiitti,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , liukenee pH-arvon ollessa 4,5, joka on matalampi kuin hydroksiapatiitin 5,5. Koska fluoroapatiitti sietää happamampia olosuhteita, osa kiilteestä liuenneista hydroksidi-

ioneista korvautuu fluoridi-ioneilla happohyökkäyksen aikana. Muodostunut fluoridia sisältävä apatiitti kestää paremmin happamia olosuhteita ja liukenee vähemmän uusien happohyökkäysten aikana alkuperäiseen hydroksiapatiittiin verrattuna. (Epple ym., 2022)

Toinen ehdotettu mekanismi on fluoridia sisältävän pinnoitteen muodostumisen kiilteen pinnalle, joka suojaa kiillettä happamissa olosuhteissa. Mahdolliseksi pinnoitteeksi on ehdotettu kalsiumfluoridia,  $\text{CaF}_2$ , joka on vedessä niukkaliukoinen yhdiste (Scholz ym., 2019). Fluoridia sisältävien tuotteiden fluoridi saostuisi hampaiden pinnalle muodostaen suojaavan kerroksen. Fluoridia sisältävän pintakerroksen merkitys reikiintymisen ehkäisyssä on kuitenkin kyseenalaistettu, sillä muodostuva kerros on ohut ja huokoinen eikä tarjoa pitkäaikaista suojaa (Epple ym., 2022). Suun ja fluoridiyhdisteiden kemian monimutkaisuuden takia on todennäköistä, että fluoridin positiivinen vaikutus johtuu useasta eri mekanismista (Epple ym., 2022).

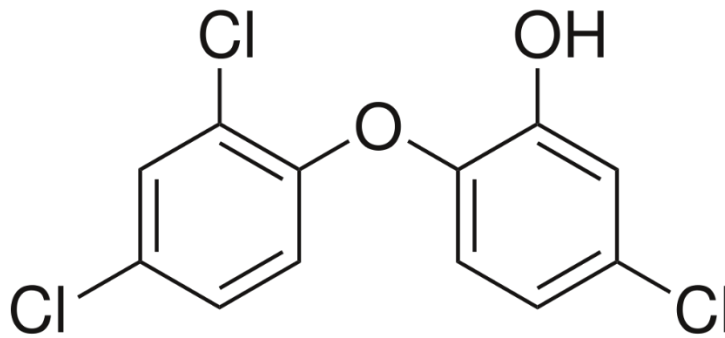
### 3.5.1.2 Plakin ja hammaskiven muodostumista ehkäisevät aineet

Fluoridiyhdisteiden lisäksi hampaiden reikiintymistä ehkäistään hammasplakin ja hammaskiven muodostumista vähentävien aineiden avulla. Hammasplakki on suun bakteerien hampaan pinnalle muodostama limakerros, biofilmi, ja se voi aiheuttaa tautitiloja, kuten ientulehduksia. Plakkia ehkäisevien aineiden vaikutus perustuu niiden antibakteerisiin ominaisuuksiin. Yleisimmin käytettyjä plakkia vähentäviä aineita ovat triklosaani, tina(II)- ja sinkki(II)yhdisteet. (Sanz ym., 2013.)

Hammaskivi on hampaiden pintaan suostuvaa mineraalikertymää. Hammaskivi muodostuu, kun syljen kalsiumyhdisteet kertyvät plakkiin. Hammaskiveä ehkäisevät aineet vähentävät kalsiumyhdisteiden kiinnittymisestä plakkiin. Yleisimpiä aineita ovat erilaiset fosfaatit, kuten natriumpyrofosfaatti, natriumheksametafosfaatti ja natrium trimetafosfaatti. Kyseiset fosfaatit reagoivat syljen kalsiumin kanssa muodostaen liukenemattomia kalsiumfosfaattiyhdisteitä estäen kalsiumin kerrostumisen hampaan pinnalle. (Lippert, 2013.)

Plakin ehkäisyssä hyödynnetty triklosaani (5-kloori-2-(2,4-dikloorifenoksi)fenoli) on kloorattu aromaattinen yhdiste (kuva 7), joka toimii inhibiittorina estäen bakteerien rasvahapposynteesiin osallistuvan enoyyli-reduktaasientryymin (*engl. enoyl*

*reductase*) toiminnan ja siten tuhoaa bakteereja (Shrestha ym., 2020). Triklosaani ei ole ongelmaton yhdiste. Sen on havaittu haitalliseksi vesistöille ja häiritsevän hormonitoimintaa. Tämän takia triklosaanin käyttöä on Euroopan unionissa rajoitettu. Hammastahnoissa sen konsentraatio saa olla enintään 0,3 %. (European Commission. Scientific Committee on Consumer Safety, 2022).



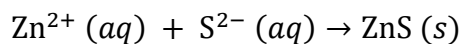
Kuva 7. Triklosaanin rakennekaava.

Tina(II)-ionit ehkäisevät plakin muodostumista, sillä ne toimivat inhibiittoreina bakteerien toiminnolle. Tina(II)yhdisteiden hyödyntämisen osalta haasteena on  $\text{Sn}^{2+}$ -ionin reaktiivisuus.  $\text{Sn}^{2+}$ -ioni reagoi hammastahnan sisältämän veden kanssa hapettuen  $\text{Sn}^{4+}$ -ioniksi, jolloin yhdiste menettää antibakteeriset ominaisuutensa. Hapettumista voidaan vähentää erilaisilla stabilointiaineilla, kuten natriumglukonaatilla ja olaflurilla. Aineet muodostavat sinkki-ionin kanssa metallikompleksin. Muodostunut metallikompleksi on kelaatti, sillä tina-ioni on tarttuu ligandiin useasta kohdasta. (Loveren, 2013). Käytetyimpiä tinayhdisteitä ovat tina(II)kloridi ja tina(II)fluoridi (Sanz ym., 2013).

Sinkki-ionit ehkäisevät tina(II)-ionien tavoin plakin muodostumista estäen bakteerien toimintaa. Yleisimmät sinkkiyhdisteet ovat sinkkisitraatti ja sinkkikloridi. Sinkkiyhdisteiden ongelmana on niiden metallinen maku, jonka takia sinkkihammastahnojen käyttö ei ole miellyttävää. Lisäksi sinkkiyhdisteitä ei voi hyödyntää yhdessä fosfaattiyhdisteiden kanssa, sillä ne reagoivat muodostaen niukkaliukoista sinkkifosfaattia, mikä aiheuttaa rajoitteita hammastahnan ainesosille.

### 3.5.1.3 Pahanhajuista hengitystä ehkäisevät aineet

Hengityksen paha haju johtuu usein suun bakteerien tuottamista haihtuvista rikkiyhdisteistä (*engl. volatile sulphur compounds, VSC*), joista yleisin on divetyysulfidi, H<sub>2</sub>S. Haihtuvien rikkiyhdisteiden muodostumista voidaan estää sekä antibakteerisilla yhdisteillä sekä rikkiä sitovilla aineilla. Antibakteerisia aineita on esitelty kahdessa edellisessä luvussa. Rikkiä sidotaan sinkkisuolojen avulla (Young ym., 2003). Sinkki-ioni reagoi sulfdi-ionin kanssa muodostaen veteen liukenematonta sinkkisulfidia, joka voidaan ilmaista seuraavasti:



Muodostunut rikkisulfidi on stabiili ioniyhdiste, jota suun bakteerit eivät kykene hyödyntämään. Rikin sitoutuminen vähentää mikrobeille käytettävissä olevaa rikin määrää ja siten haihtuvien orgaanisten rikkiyhdisteiden muodostumista. Yleisimmin hammastahnoissa käytetyt sinkkiyhdisteet ovat sinkkisitraatti ja -kloridi.

### 3.5.1.4 Valkaisevat aineet

Hampaiden hyvinvoinnin ja pahan hajuisen hengityksen ehkäisyn lisäksi hammastahnan halutaan parantavan hampaiden esteettisiä ominaisuuksia. Valkeat hampaan mielletään usein kauniiksi. Hampaiden värjäytyminen johtua sekä hampaan sisäisestä värjäytymisestä että ulkoisesta likaantumisesta.

Hammastahnojen avulla ei voida merkittävästi vaikuttaa hammaskiilteen ja -luun värjäytymiseen, mutta ulkoista likaantumista voidaan vähentää hammastahnojen avulla (Epple ym., 2019). Hammastahnoissa hyödynnetään useita erilaisia valkaisevia aineita. Ne voidaan jaotella kemiallisiin, mekaanisiin ja optisiin aineisiin.

Mekaanisesti valkaisevat aineet ovat hiovia aineita, jotka esitellään luvussa 4.1.5. Hiovat aineet ovat valkaisun kannalta tärkeimpiä valkaisuaineita hammastahnassa (Joiner, 2010). Kemiallisesti valkaisevat aineet joko reagoivat hampaan pinnassa olevien tahrojen kanssa tai ehkäisevät värjäävien aineiden tarttumista hampaiden pinnalle. Optiset aineet vaikuttavat hampaan valonheijastusominaisuuteen.

Yleisesti hampaiden valkaisutuotteissa käytettyjä kemiallisia valkaisuaineita ovat peroksidit, kuten vetyperoksidi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Peroksidit toimivat hapettimina. Ne hapettavat tahrojen orgaanisia yhdisteitä, jolloin yhdisteet irtoavat hampaan pinnasta tai muuttuvat toisiksi yhdisteiksi, jotka eivät absorboi näkyvän valon aallonpituuksia.

Hammastahnoissa peroksidien käyttämisen ongelmana on niiden reaktiivisuus. Vetyperoksidi ei säily vettä sisältävässä hammastahnassa vaan hajoaa hiljalleen vedeksi ja hapeksi. (Epple ym., 2019). Lisäksi peroksidit ovat haitallista hampaan orgaaniselle matriisille, joten niiden pitoisuutta on rajoitettu hammastahnoissa. Euroopan Unionissa hammastahnassa saa olla vetyperoksidia enintään 0,1 m-% (Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on Cosmetic Products, 2009). Matalan pitoisuuden ja lyhyen, noin 2 minuutin, vaikutusajan takia peroksidien hyödyllisyys hammastahnoissa on kyseenalaistettu (Lippert, 2013) eikä asiasta ole tutkimuskirjallisuudessa yksimielisyyttä (ks. Epple ym., 2019).

Peroksidien lisäksi kemiallisina valkaisuaineita hyödynnetään entsyymejä. Hampaan pinnan likatahrat sisältävät proteiineja, jotka aiheuttavat hampaan värjäytymistä. Hammastahnoissa hyödynnetään entsyymejä, jotka pilkkovat proteiineja hydrolysoimalla aminohappojen välisiä peptidisidoksia. Kyseisiä entsyymejä kutsutaan proteaaseiksi. Yleisimmin käytetty proteaasi on papaiini, joka on alun perin eristetty papaijasta. (Epple ym., 2019.) Papaiinin aktiivisena keskuksena toimii kysteini, johon proteiinit tarttuvat kovalenttisesti ennen varsinaista hydrolyysireaktiota. Proteiinien pilkkominen muuttaa niiden kykyä absorboida näkyvää valoa, jolloin ne eivät enää aiheuta hampaissa värjäytymiä. (Amri & Mamboya, 2012). Proteaasien tehokkuudesta ei kuitenkaan ole tieteellistä yksimielisyyttä (Joiner, 2010). Entsyymien hyödyntämisen haasteena on se, että ne eivät säily pitkää aikaa aktiivisessa muodossaan. Ne voivat deaktivoitua hammastahnassa ennen varsinaista käyttöä, jolloin niistä ei ole hyötyä. Lisäksi proteaasientsyymit voivat vaikuttaa vain proteiineista johtuviin tahraumiin. (Epple ym., 2019.)

Optiset aineet ovat kemiallisia ja mekaanisia valkaisuaineita uudempia eikä niitä ole vielä tutkittu kattavasti (Epple ym., 2019). Tutkituin optisesti valkaiseva aine on sinikovariini (*engl. blue covarine*). Optisesti valkaisevat aineet kiinnittyvät hampaan pintaan ja muuttavat pinnan valon absorptioaluetta. Sinikovariini siirtää heijastuvan valon aallonpituutta keltaisen valon alueelta sinisen valon alueelle, jolloin hampaat vaikuttavat valkoisemmilta (Joiner, 2010).

### 3.5.1.5 Hionta-aineet

Hionta-aineet ovat aineita, joita hyödynnetään hampaiden mekaanisessa puhdistuksessa. Hionta-aineiden vaikutus perustuu siihen, että ne ovat kovempia kuin likapartikkelit. Tällöin hampaiden harjauksen aikana hionta-aineet hiovat ja irrottavat hampaan pinnassa olevaa likaa puhdistuen hampaita. Hionta-aineiden puhdistava vaikutus vaalentaa hampaita. Hampaiden värjäymät johtuvat usein kiilteen pintaan kiinnittyneistä likapartikkeleista. Hionta-aineiden irrottaessa likaa hampaan pinnasta hampaiden luonnollinen väri tulee esiin. (Joiner, 2010.)

Hionta-aineet eivät kuitenkaan saa olla hammaskiillettä kovempaa ainetta, jotta kiille ei vaurioidu. Yleisimpiä hammastahnan sisältämiä hionta-aineita ovat hydratoitu piioksidi (*engl. hydrated silica*), kalsiumkarbonaatti, alumiinioksidi, kidevedellinen kalsiumvetyfosfaatti, kalsiumpyrofosfaatti, natriummetafosfaatti ja natriumvetykarbonaatti. (Epple ym., 2019.)

Hammastahnan hiontaominaisuuksiin vaikuttaa käytetyn hionta-aineen lisäksi muun muassa hionta-aineen partikkelien koko, muoto ja pitoisuus (Lippert, 2013). Hionta-aineilla on hiovuuden lisäksi muita haluttuja ominaisuuksia. Esimerkiksi kalsiumpyrofosfaatti ehkäisee hammaskiven muodostumista, kuten luvussa 3.1.2 mainitaan.

## 3.5.2 Apuaineet

Apuaineet ovat hammastahnassa aiemmassa kappaleessa esiteltyjen hammastahnan terveydellisten ja valkaisevien aineiden lisäksi käytettäviä aineita. Niitä ovat hammastahnan rakenteen muodostavat sidosaineet, hammastahnan vaahtoamisen aiheuttavat vaahtoutumisaineet sekä maku- ja väriaineet.

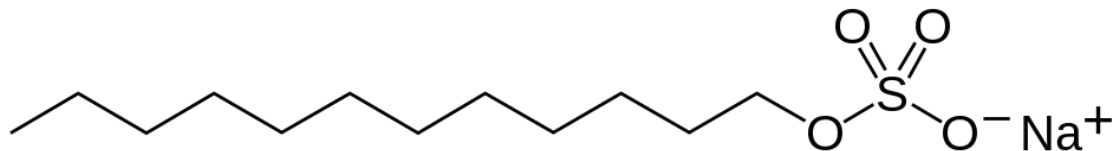
### 3.5.2.1 Sidosaaineet

Sidosaineet vaikuttavat hammastahnan koostumukseen ja ylläpitävät tahnan homogeenisyyttä. Sidosaaineet stabiloivat tahnaa estäen vesi- ja rasvaliukoisten ainesosien erottumisen ja tahnan paakkuuntumisen. Sidosaaineiden avulla voidaan myös vaikuttaa hammastahnan viskositeettiin. Hammastahnan tulee virrata tarpeeksi helposti tuubista, mutta se ei saa valua liikaa hammasharjasta. Yleisesti

käytettyjä sidosaineita ovat karboksimeetyyliselluloosa, karrageenit ja ksantaanikumi. (Lippert, 2013.)

### 3.5.2.2 Vaahtoutumisaineet

Vaahtoutumisaineet ovat aineita, jotka nimensä mukaisesti aiheuttavat hammastahnan vaahtoutumista. Ne ovat pinta-aktiivisia aineita eli tensidejä. Tensidit ovat usein pitkä ketjuisia orgaanisia molekyyliä, joilla on hydrofiilinen ja hydrofobinen pää. Yleisin hammastahnoissa käytetty vaahtoamisaine on natriumlauryylisulfaatti, SLS. (Lippert, 2013.) Natriumlauryylisulfaatti koostuu hydrofobisesta hiiliketjusta ja hydrofiilisestä sulfaattiosasta. Natriumlauryylisulfaatin rakennekaava on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Natriumlauryylisulfaatin rakennekaava

Vaahtoutumisaineet laskevat veden pintajännitystä, mikä parantaa vaahtoutumista. Lisäksi ne edistävät misellien muodostumista, jolloin hydrofobiset yhdisteet, kuten orgaaniset plakin estoaineet ja likayhdisteet, kulkeutuvat paremmin suussa. (Lippert, 2013.) Positiivisten vaikutusten lisäksi vaahtoutuminen parantaa kuluttajien kokemusta käytetystä hammastahnasta, sillä vaahtoutuminen mielletään puhdistavaksi ominaisuudeksi (Sälzer ym., 2016).

Yleisimmin käytetty vaahtoutumisaine, natriumlauryylisulfaatti, on havaittu aiheuttavan joillain ihmisillä aftoja. Se on kuitenkin käytössä suuressa osassa hammastahnoista, sillä sen vaahtoamisominaisuudet ovat erinomaiset ja se on edullinen tensidi (Sälzer ym., 2016).

### 3.5.2.3 Maku- ja väriaineet

Maku- ja väriaineet tekevät hammastahnojen käyttämisestä miellyttävämpää, mikä on tärkeä osa kaupallisia tuotteita. Makuaineilla voidaan muokata hammastahnan makua ja peittää muiden ainesosien, kuten vaahtoamisaineiden, epämiellyttävää

makua. Lisäksi makuaineilla, kuten piparminttu-uutteella, voidaan raikastaa hetkellisesti hengitystä ja saada luoda viilentävä suutuntuma. (Lippert, 2013.) Makuaineiden raikastava vaikutus perustuu siihen, että ne peittävät pahat hajut. Ne eivät kuitenkaan poista tai estä pahanhajuista hengitystä aiheuttavia rikkiyhdisteitä toisin kuin luvussa 3.1.3 esitetyt pahan hajun poistoaineet.

Makuaineilla voi olla myös terveydellisiä vaikutuksia. Makeutusaine ksylitolin on havaittu ehkäisevän kariesta, mutta sen terveyshyödyistä hammastahnoissa on ristiriitaisia tutkimustuloksia (Riley ym., 2015). Jotta ksylitoli ehkäisee kariesta, sitä tulee saada vähintään 5 grammaa päivässä. Hammastahnan sisältämän ksylitolin riittävyttä ei ole todistettu. Tämän takia esimerkiksi Euroopan unionin hyväksymät ksylitolin terveysvaikutukset liittyvät vain ksylitolipurukumin ja -pastilleihin (European Food Safety Authority, 2008).

Väriaineilla voidaan muokata hammastahnasta valkoisempaa tai värillistä. Valkoisissa hammastahnoissa käytetään useimmiten titaanidioksidia,  $\text{TiO}_2$ , joka on eniten käytetty valkoinen pigmentti (Lippert, 2013). Titaanidioksidin käyttö ollaan kieltämässä ruokatuotteissa ja rajoitetaan kosmetiikkatuotteissa Euroopan unionissa sen mahdollisten karsinogeenisten ominaisuuksien takia (Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on Cosmetic Products, 2009). Titaanidioksidin tilalle pyritäänkin kehittämään uusia turvallisempia valkopigmenttejä.

### **3.6 Kemian opetuksen tavoitteet ja sisällöt yläkoulussa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (TK2)**

Tässä luvussa kartoitetaan, millaisia tavoitteita ja sisältövaatimuksia perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet määrittävät Suomen yläkoulun kemian opetukselle ja miten hammastahnakonteksti sopii niihin. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet on opetusta ohjaava dokumentti, joka määrittää opetuksen lähtökohdat opettajia velvoittavana asiakirjana (Opetushallitus, 2014). Jotta tutkimuksessa tuotettu opetuskokonaisuus vastaisi aidosti opetuksen alan tarpeeseen Suomessa, sen pitää olla linjassa opetussuunnitelman määrittämien opetuksen tavoitteiden ja sisältöjen kanssa. Mikäli opetussuunnitelmaa ei huomioitaisi tutkimuksessa, kehittäminen ei perustuisi todellisiin haasteisiin vaan tutkijan omiin näkemyksiin. Tällöin kehittämistutkimuksen tekeminen ei olisi perusteltua. Opetussuunnitelman

opetukselle asettamien sisältöjen ja tavoitteiden avulla voidaan rajata hammastahnankontekstin näkökulma siten, että se on relevanttia ulkoisen ulottuvuuden osalta. Opetussuunnitelman perusteiden asettamia kansallisia tavoitteita ja toimintatapoja tarkennetaan paikallisilla linjauksilla, mutta tässä tutkimuksessa käsitellään vain valtakunnallista peruskoulun opetussuunnitelman perusteita, jotta tuotettu materiaali olisi laajemmin hyödynnettävissä.

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteiden (2014) mukaan kemian opetuksen tehtävänä on kehittää oppilaan luonnontieteellistä ajattelua ja maailmankuvaa. Tavoitteena on auttaa oppilasta ymmärtämään kemian ja sen sovellusten merkitystä jokapäiväisessä elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa. Lisäksi opetus tukee oppilaiden valmiuksia tehdä valintoja ja soveltaa kemian osaamista elämän eri tilanteissa. Opetus auttaa ymmärtämään kemian merkityksen kestävän tulevaisuuden rakentamisessa ja kannustaa oppilasta ottamaan vastuuta ympäristöstään. OPS:ssa ei erikseen mainita kontekstipohjaista oppimista, mutta sen mukaan kemian aiheita tulee lähestyä oppilaille merkittävien kontekstien avulla. Tällöin kontekstipohjaista opetusta voidaan pitää perusteltuna lähestymistapana. Myös ruotsalaisessa tutkimuksessa on tehty vastaavia havaintoja kontekstipohjaisen opetuksen soveltuvuudesta yläkoulun kemian opetuksessa (Broman ym., 2022).

Hammastahna jokapäiväinen mutta terveydellisten vaikutustensa takia yhteiskunnallisesti merkittävä kemialla sisältävä tuote. Voidaankin perustellusti todeta, että hammastahna voi toimia kontekstina, jonka avulla oppilaille havainnollistetaan kemian merkitystä. Kontekstia voidaan soveltaa myös oppilaan valintojen tukemiseen. Esimerkiksi opetuksessa voitaisiin tarkastella hammastahnan toivottuja ominaisuuksia tai vertailla eri hammastahnavalmistajien esittämiä terveysväitteitä ja arvioida niiden luotettavuutta sekä pohtia mitkä asiat vaikuttavat ihmisten ostopäätöksiin.

Hammastahnankontekstin soveltuvuutta opetussuunnitelman määrittämiin kemian opetuksen sisältöalueisiin ja tavoitteisiin on avattu tarkemmin taulukoissa 2 ja 3. Sopivia osioita määritettiin aiemman tutkimuksen ja ongelma-analyysin aikana tehtyjen omien pohdintojen avulla. Aiemman tutkimuksen osalta hyödynnettiin tutkijan omaa hammastahnan kemian liittyvää kandidaatintutkielmaa (Mälkönen, 2023) ja kosmetiikkakontekstien käyttöä Suomen opetuksessa tutkineita opinnäytetöitä (Kousa, 2014; Selenius, 2023). Ehdotukset koostuvat hammastahnan

kemiaan liittyvistä osa-alueista ja hammastahnan kontekstipohjaiseen opetukseen liittyviä toteutusmuotoja ja mahdollisuuksia. Tutkimuksellisella työtavalla on korostainen asema opetussuunnitelmassa (Opetushallitus, 2014), joten kokeellisten työskentelytavan mahdollisuuksia on painotettu pohdinnassa. Tämä tukee myös tutkimuksen tavoitetta kokeellisen työn kehittamisestä osana opetuskokonaisuutta. Osa hammastahnan ainesosien kemiasta on liian haastavaa peruskoulutasolle, joten aihevalinnoissa ja niiden käsittelyssä tulee huomioida oppilaiden osaamistaso.

Taulukko 2. Kemian opetuksen keskeiset sisältöalueet vuosiluokilla 7–9 (Opetushallitus, 2014) ja niihin sopivat hammastahnakontekstin näkökulmat

Kemian opetuksen sisältöalueet vuosiluokilla 7–9	Miten sisältö soveltuu hammastahnakontekstiin
S1 Luonnontieteellinen tutkimus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokeellinen työskentely</li> <li>• Oman hammastahnan valmistus ja arviointi</li> <li>• Hammastahnan ominaisuuden tai terveysvaikutuksen tutkiminen <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ esim. vaikutus reikiintymiseen</li> </ul> </li> <li>• Hammastahnaan ja sen ainesosiin liittyvä tiedonhaku</li> </ul>
S2 Kemia omassa elämässä ja elinympäristössä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arjen kemiallinen tuote</li> <li>• Hammastahnan terveydelliset vaikutukset <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Fluoridi ja reikiintyminen</li> <li>◦ Pahanhajuisen hengityksen rikkiyhdisteiden sidonta</li> </ul> </li> <li>• Valkaisevien hammastahnojen toimintaperiaatteet ja turvallisuus</li> <li>• Ainesosien turvallisuus <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Natriumlauryylisulfaatti ja aftat</li> <li>◦ Fluoriyliannostukset</li> </ul> </li> </ul>
S3 Kemia yhteiskunnassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan elinkaarianalyysi</li> <li>• Valmistajien terveystietot ja markkinointi</li> <li>• Kosmetiikkalainsäädäntö</li> <li>• Tuotekehitys</li> </ul>
S4 Kemia maailmankuvan rakentajana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahna kemian sovelluksena</li> <li>• Uudet valkaisevat ainesosat</li> <li>• Kaupallisen ja kotitekoisen hammastahnan vertailu</li> </ul>
S5 Aineiden ominaisuudet ja rakenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seokset</li> <li>• Vesiliukoisuus</li> <li>• Hammastahnan sisältämät alkuaineet <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Fluori</li> </ul> </li> <li>• Ionyhdisteet</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orgaaniset yhdisteet</li> </ul>
S6 Aineiden ominaisuudet ja muutokset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemialliset reaktiot <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pahanhajuisen hengityksen rikkiyhdisteiden sidonta</li> </ul> </li> <li>• Pitoisuus</li> <li>• Happamuus ja reikiintyminen</li> <li>• Happamuudensäätöaineet</li> </ul>

Taulukko 3. Kemian opetuksen tavoitteet vuosiluokilla 7–9 (Opetushallitus, 2014) ja niihin sopivat hammastahnakontekstin näkökulmat

Kemian opetuksen tavoitteet vuosiluokilla 7–9	Miten tavoitetta voisi soveltaa hammastahnakontekstissa
T1 kannustaa ja innostaa oppilasta kemian opiskeluun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arkielämän konteksti</li> <li>• Kokeellinen työskentely</li> <li>• Moniaistillisuus</li> </ul>
T2 ohjata ja kannustaa oppilasta tunnistamaan omaa kemian osaamistaan, asettamaan tavoitteita omalle työskentelylleen sekä työskentelemään pitkäjänteisesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemian yhdistäminen arjen kontekstiin</li> <li>• Opintokokonaisuus tukee pitkäjänteistä työskentelyä</li> </ul>
T3 ohjata oppilasta ymmärtämään kemian osaamisen merkitystä omassa elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arkielämän konteksti</li> <li>• Hammastahnan terveydellisten vaikutusten tarkastelu</li> </ul>
T4 ohjata oppilasta käyttämään kemian osaamistaan kestäväen tulevaisuuden rakentamisessa sekä arvioimaan omia valintojaan luonnonvarojen kestäväen käytön ja tuotteen elinkaaren kannalta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan elinkaarianalyysi</li> </ul>
T5 kannustaa oppilasta muodostamaan kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä sekä kehittämään kysymyksiä edelleen tutkimusten ja muun toiminnan lähtökohdiksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omien aiheeseen liittyvien tietojen pohtiminen</li> <li>• Oman tutkimuksen laatiminen</li> </ul>
T6 ohjata oppilasta toteuttamaan kokeellisia tutkimuksia yhteistyössä muiden kanssa sekä työskentelemään turvallisesti ja johdonmukaisesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokeellinen työskentely</li> <li>• Oman hammastahnan kehitys</li> </ul>
T7 ohjata oppilasta käsittelemään, tulkitsemaan ja esittämään omien tutkimustensa tuloksia sekä arvioimaan niitä ja koko tutkimusprosessia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokeellisen työn tulosten arviointi</li> <li>• Kehitetyn hammastahnan vertailu kaupalliseen</li> </ul>
T8 ohjata oppilasta hahmottamaan kemian soveltamista teknologiassa sekä osallistumaan kemiaa soveltavien ratkaisujen ideointiin, suunnitteluun, kehittämiseen ja soveltamiseen yhteistyössä muiden kanssa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan ainesosien ominaisuudet</li> </ul>
T9 ohjata oppilasta käyttämään tieto- ja viestintäteknologiaa tiedon ja tutkimustulosten hankkimiseen, käsittelemiseen ja esittämiseen sekä tukea oppilaan oppimista havainnollistavien simulaatioiden avulla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnaan liittyvä tiedonhaku</li> <li>• Ainesosien käyttäytymisen havainnollistaminen simulaatioiden avulla</li> </ul>

T10 ohjata oppilasta käyttämään kemian käsitteitä täsmällisesti sekä jäsentämään omia käsiterakenteitaan kohti luonnontieteellisten teorioiden mukaisia käsityksiä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arjen tuotteen ja tieteen yhteys</li> <li>• Hammastahnan ainesosien luokittelu</li> </ul>
T11 ohjata oppilasta käyttämään erilaisia malleja kuvaamaan ja selittämään aineen rakennetta ja kemiallisia ilmiöitä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan koostumuksen tutkiminen</li> <li>• Ainesosien vaikutus rakenteeseen</li> </ul>
T12 ohjata oppilasta käyttämään ja arvioimaan kriittisesti eri tietolähteitä sekä ilmaisemaan ja perustelemaan erilaisia näkemyksiä kemialle ominaisella tavalla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Itsetehtyjen hammastahnojen ja tee-se-itse-ohjeiden turvallisuuden ja terveydellisten vaikutusten arviointi</li> <li>• Hammastahnaan liittyvien väitteiden ja mainosten arviointi</li> <li>• Kosmetiikkatietokannan hyödyntäminen</li> </ul>
T13 ohjata oppilasta hahmottamaan luonnontieteellisen tiedon luonnetta ja kehittymistä sekä tieteellisiä tapoja tuottaa tietoa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan ainesosien turvallisuuden ja vaikutusten tutkiminen tieteessä</li> </ul>
T14 ohjata oppilasta ymmärtämään peruseriaatteita aineen ominaisuuksista, rakenteesta ja aineiden muutoksista	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammastahnan koostumus</li> <li>• Hammastahnan säilyvyys</li> <li>• Hiovien aineiden kovuuden vaikutus</li> <li>• Vaahtoaminen</li> <li>• Happohyökkäyksen ja fluoridiyhdisteiden kemia</li> <li>• Pahanhajuisen hengitykseen liittyvä rikkikemia</li> </ul>
T15 ohjata oppilasta soveltamaan kemian tietojaan ja taitojaan monialaisissa oppimiskokonaisuuksissa sekä tarjota mahdollisuuksia tutustua kemian soveltamiseen erilaisissa tilanteissa kuten luonnossa, elinkeinoelämässä, järjestöissä tai tiedeyhteisöissä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arkielämän konteksti</li> <li>• Kosmetiikkalainsäädäntö ja -valvonta alana</li> <li>• Tuotekehitys</li> </ul>

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (2014) mukaan kemian opetuksen tulee huomioida kyseisen oppiaineelle omien tavoitteiden lisäksi perusopetukselle määritettyjä laaja-alaisen osaamisen tavoitteet, jotka ovat Ajattelu ja oppimaan oppiminen, Kulttuurinen osaaminen, vuorovaikutus ja ilmaisu, Itsestä huolehtiminen ja arjen taidot, Monilukutaito, Tieto- ja viestintäteknologinen osaaminen, Työelämätaidot ja yrittäjäyys sekä Osallistuminen, vaikuttaminen ja kestävä tulevaisuuden rakentaminen. Hammastahnakontekstin avulla voidaan tukea monia osa-alueita. Esimerkiksi osana hampaidenharjausta ja siten suunterveyden perustaa hammastahna liittyy itsestä huolehtimiseen ja arjen taitoihin. Lisäksi hammastahnoja käsiteltäessä voidaan tukea monilukutaitoa harjoittelemalla ainesosaluettelon sekä tahnojen terveystieteiden ja mainosten tulkintaa. Tieto- ja viestintäteknologiaa voidaan hyödyntää tiedonhaussa.

Katsauksen perusteella voidaan todeta, että hammastahnakonteksti vaikuttaa sopivan monipuolisesti kemian opetukselle asetettuihin ainekohtaisiin ja laaja-alaisiin tavoitteisiin. Hammastahnakontekstin avulla voidaan erityisesti käsitellä kemian merkitystä oppilaan oman terveyden näkökulmasta. Oma terveys liittyy erityisesti peruskoulun sisältöalueeseen 2 Kemian omassa elämässä ja elinympäristössä. Hammastahna sisältää runsaasti erilaisia kemiallisia aineita, joiden merkitykseen ja vaikutuksiin voidaan perehtyä. Kosmetiikan turvallisuuden perehtyminen auttaa oppilasta myös itse tarkastelemaan tekemiään ostosvalintoja. Tällöin hammastahna toimii yhteytenä oppilaan omien kokemusten ja kemian yhteiskunnallisen merkityksen (S3) välillä. Hammastahnan hyödyntäminen kokeellisessa työskentelyssä mahdollistaa moniaistillisen tutkimisen, joka on poikkeuksellista normaaleihin kemian tutkimuksiin verrattuna. Tämän tutkimuksen osalta opetussuunnitelman perusteiden perusteella päädyttiin rajaamaan hammastahnakontekstia siten, että hammastahnaa hyödynnetään esimerkkinä kemian merkityksestä oppilaiden arjen mahdollistajana. Tämä toteutettiin tutkimuksessa siten, että kehitetyssä työssä valmistettiin hammastahnaa, jonka ominaisuuksia oppilaat testasivat ja vertailivat kaupalliseen hammastahnaan. Lisäksi työssä oppilaat pohtivat, millaisia ominaisuuksia hammastahnoilla halutaan olevan ja sen perusteella luokitellaan kaupallisen hammastahnan ainesosia. Tutkimuksessa kehitetyssä kokonaisuus pyrittiin kehittämään niin, että se soveltuu laajasti yläkoulun opetukseen, sillä kehitysvaiheessa ei ollut varmuutta, kuinka laajasti kokonaisuutta testaavat oppilaat ovat opiskelleet yläkoulun kemiaa.

## 4 Kehittämisprosessi

Tässä luvussa esitellään kehittämisprosessin vaiheita. Aluksi kuvaillaan tutkielman kehittämissuunnitelman muodostumista vuorovaikutuksessa ongelma-analyysin kanssa (luku 4.1). Tämän jälkeen esitellään oppimiskokonaisuuden kokeellisen osuuden käytännön kehittäminen, sen aikana ilmenneet haasteet ja ratkaisut (luku 4.2).

### 4.1 Kehittämissuunnitelma

Tämän tutkielman tavoitteena on osaltaan kehittää ratkaisuja kemian opetuksen alalla huolta herättäneeseen havaintoon nuorten kiinnostuksen ja kemian osaamisen heikentymisestä viime vuosina (Kärnä ym., 2012; Tähkä, 2012). Tutkielmassa pyritään kehittämään hammastahnaan liittyvä kokeellista työskentelyä sisältävä opintokokonaisuus. Hammastahna-aihe valittiin keskeiseksi osaksi tutkielmaa kirjoittajan aiemman hammastahnaan liittyvän tutkimuksen tulosten perusteella. Aiemman selvityksen mukaan hammastahna on arkinen tuote, johon liittyy monenlaista kemiaa. Täten sillä on potentiaalia kemian opetuksen kontekstina, koska arjen ilmiöiden avulla kemian opetus ja sen sisällöt voidaan liittää oppilaille tuttuihin aiheisiin, mikä lisää kemian kiinnostavuutta (Gilbert, 2006; Marks & Eilks, 2009). Lisäksi hammastahnan hyödyntäminen opetuksessa auttaa oppilaita ymmärtämään kemian merkitystä yksilölle ja yhteiskunnalle, mikä on keskeinen osa niin peruskoulun kuin lukion kemian opetuksen tavoitteita (Opetushallitus, 2014, 2019). Hammastahnan hyödyntämistä kontekstina kemian opetuksessa ei ole kattavasti tutkittu. Suomenkielisessä tutkimuksessa aiheetta on sivuttu vain kosmetiikan kontekstuaalisen opetuksen osana (Kousa, 2014).

Kokeellisen työn kehittämisen tavoitteen perusteella valittiin tutkimusmetodologia, kehittämistutkimus. Kuten luvussa 2 on esitetty, kehittämistutkimus tuottaa käytännön läheistä tutkimustietoa ja konkreettisen artefaktin, joka on tämän tutkimuksen osalta kokeellisen työn sisältävä opintokokonaisuus. Haluun kehittää kokeellinen työ vaikutti se, että on osoitettu lisäävän oppilaiden motivaatiota (Hofstein & Lunetta, 2004). Lisäksi opettajat kaipaavat opetusmateriaaleja opetuksensa tueksi (Bennett ym., 2007).

Alustava kehittämissuunnitelma hammastahnan kemian hyödyntämisestä opetuksessa tarkentui ongelma-analyysin edetessä. Ongelma-analyysissä aluksi kartoitettiin kemian opetukseen liittyviä haasteita ja tarpeita sekä mahdollisia hammastahna-aiheeseen sopivia opetusmenetelmiä ja -teorioita. Kehittämisen ja arvioinnin tueksi valittiin Gilbertin (2006) tutkimuksessa määritetyt kemian opetuksen haasteet, jotka ovat opetussisältöjen liiallisuus, opettavien tietojen pirstaleisuuteen, merkityksellisyyden puutteeseen, soveltamisen haasteisiin ja epäoleellisiin painotuksiin. Haasteet on avattu tarkemmin luvussa 3.2. Opetuksen haasteisiin liittyen hammastahnakokonaisuuden haluttiin korostavan kemian merkitystä oppilaille heidän omassa arjessaan ja yhteiskunnallisten sovellusten mahdollistajana.

Tutkimukseen haluttiin valita jokin sopiva opetusmenetelmä, jota voitaisiin tarkastella opetukseen liittyvän teorian avulla. Tutkimuksen opetusmenetelmäksi valikoitui kontekstipohjainen opetus ja menetelmää tarkastellaan relevanssiteorian avulla. Teoriat on esitelty aiemmin luvuissa 3.1 ja 3.2. Molemmilla tutkimukseen valituilla teorioilla oli vaihtoehtona hieman samankaltainen teoria.

Kontekstipohjainen opetuksen vaihtoehtona oli lähestyä hammastahnaa SSI-opetuksen (*sosioscientific issues*) näkökulmasta. SSI-opetuksessa painotetaan tieteen ja yhteiskunnan vuorovaikutusta. Verrattuna kontekstipohjaiseen opetukseen SSI-opetuksessa pyritään käsittelemään tutkittua aihetta laajemmin yhteiskunnallisena ilmiönä ja tarkastelemaan aihetta kemiallista näkökulmaa laajemmin (Bennett, 2016). Hammastahnan osalta voitaisiin erimerkiksi tarkastella sitä, millaisia terveysvaikutuksia hammastahnalla on ja millaisia terveysväitteitä niille esitetään. Kontekstipohjaisen opetusmenetelmän valintaan vaikutti sen laajempi hyödyntäminen suomalaisessa opetuksen tutkimuksessa, tutkijan parempi ymmärrys kontekstipohjaisesta opetusmenetelmästä ja halu kehystää hammastahna arkielämän tuotteeksi. Relevanssiteorian vaihtoehtona harkittiin valitun kontekstin tutkimusta oppijan kiinnostuksen näkökulmasta. Alustavan analyysin perusteella päädyttiin kuitenkin relevanssiin, sillä sen avulla voidaan tarkastella kontekstia moniulotteisemmin. Oppijan kiinnostus sisältyy relevanssin henkilökohtaiseen ulottuvuuteen (Stuckey ym., 2013).

Kokeellisen osion lisäksi kokonaisuuteen sisältyy toinen osio, jossa perehdytään hammastahnaan ainesosiin tiedonhaun avulla. Tämä osio lisättiin kokonaisuuteen

vasta kokeellisen työn kehityksen jälkeisessä arviointivaiheessa. Pelkkä kokeellinen osio ei vastannut riittävästi Gilbertin (2006) esittämiin opetuksen haasteisiin. Tutkijan arvion perusteella kokeellinen työ ei sellaisenaan tue opittujen asioiden soveltamista muissa konteksteissa.

## 4.2 Kokeellisen työn kehittämisprosessi

Kokeellisen työn tavoitteina oli havainnollistaa oppilaille kemian merkitystä heidän arjessaan ja yhteiskunnassa. Hammastahna on arkielämän tuote, jonka terveydelliset hyödyt perustuvat sen ainesosien kemiallisiin ominaisuuksiin. Suunterveyden edistämisen takia sillä on myös tärkeä yhteiskunnallinen tehtävä. Kokeellisen työn avulla pyritään myös auttamaan oppilaita arvioimaan tuotteiden terveydellisiä vaikutuksia. Kokeellisessa työssä oppilaat valmistavat itse hammastahnaa ja testaavat sitä.

Kokeellisen työn suunnittelun perustana oli pyrkinyt hyödyntää oppilaille tuttuja aineita hammastahnan valmistuksessa, jotta konteksti on tiivistii yhteydessä oppilaiden omiin kokemuksiin ja ymmärrykseen. Hammastahnareseptit kehitettiin internetin tee-se-itse-ohjeiden perusteella. Tällöin valmistettavat hammastahnat ovat autenttisempia kuin tutkijan täysin itse kehittämät hammastahnat.

Kokeellisen työn kehittämisessä merkittävä haaste muodostui käytettävien aineiden saatavuus ja turvallisuus. Työn yhteydessä oppilaiden on tarkoitus itse testata valmistamaansa hammastahnaa, joten hammastahnan ainesosien tulee olla turvallisia eikä kemian luokan laboratoriotyövälineitä voi hyödyntää työssä. Kaikkien käytettyjen reagenssien tulee olla elintarviketasoisia, jotta niitä on turvallista käyttää suuhun laitettavassa hammastahnassa. Vaatimus elintarviketasoisista reagensseista voi aiheuttaa haasteita joidenkin ainesosien osalta. Yksi hammastahnoista haluttiin valmistaa hyödyntämällä savia, koska monissa internetistä löytyvistä itsetehdyssä hammastahnoissa käytetään savea. Elintarviketasoista savea oli haastavaa löytää. Tutkimuksessa sitä hankittiin luonnontuotteisiin erikoistuneesta terveyskaupasta. Vaikeasti saatavat reagenssit voivat vähentää opettajien kiinnostusta hyödyntää kehitettyjä opetusmateriaaleja, joten työhön kehitettiin kolme hammastahnareseptiä, joista opettajat voivat valita tarvittaessa vain yhden tai kaksi.

Toisen kehitysprosessin aikana ilmennyt haaste oli oppilaiden mahdolliset allergiat ja ruokavaliot. Yhdessä hammastahnaohjeesta oli alun perin tarkoitus hyödyntää jauhettua kananmunankuorta. Kananmuna voi kuitenkin aiheuttaa allergisia reaktioita eikä se sovi vegaaneille. Kananmunankuori korvattiin lopulta apteekista saatavalla kalsiumkarbonaattiravintolisäjauheella, koska kananmunankuori on suurimmaksi osaksi kalsiumkarbonaattia. Myös kalsiumkarbonaatista koostuvien liitujen jauhamista harkittiin, mutta niiden elintarvikelaatua ei voitu varmistaa. Kokeellisen työn kehittämässä käytännön ratkaisujen tekeminen on tasapainoilua teorian ohjaamien tavoitteiden ja saatavilla olevien materiaalien ja välineiden välillä. Kalsiumkarbonaattijauheen käyttö vähensi tutkimuksen yhteyttä oppilaiden arjen tuttuihin aineisiin, mutta se mahdollisti turvallisen ja inklusiivisen opetuksen.

Elintarvikelaadun varmistamisen lisäksi ainesosien valinnassa pyrittiin myös hammastahnojen muut turvallisuusvaatimukset. Hammastahnoissa käytettävät hiovat aineet eivät saa olla liian kovia, jotta ne eivät vaurioita hammaskiillettä. Itsetehdyissä hammastahnoissa saatetaan käyttää savea, joka sisältää eri epämetallien oksideja, kuten alumiinioksidia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), jotka voivat liian kovina yhdisteinä kuluttaa kiillettä. Alumiinioksidia hyödynnetään kaupallisissa hammastahnoissa pieninä pitoisuuksina (1-2 %) (Lippert, 2013).

Elintarvikelaatuisesta savimassasta alumiinioksidia voi olla jopa 10 % (*Juotava savi (aktivoitu vihreä savi)*, 500 g, ei pvm.). Pitkäaikaisessa käytössä savipohjainen hammastahna voi vaurioittaa hampaita. Kokeellista työtä kehitettäessä kuitenkin arvioitiin opetuksen yhteydessä tapahtuvan yksittäisen harjauksen haittavaikutusten olevan tarpeeksi pienet, jotta savia voitiin käyttää yhden hammastahnan ainesosana. Savihammastahnan avulla opetuksessa voitiin konkreettisen esimerkin avulla keskustella trendikkäiden kotitekoisten hammastahnojen mahdollisista vaaroista. Tuotteiden kriittinen tarkastelu on aiemmassa tutkimuksessa havaittu tukevan oppilaiden kokemusta opetuksen merkityksellisyydestä (Marks & Eilks, 2009). Muut käytetyt hiovat aineet, natriumvetykarbonaatti eli ruokasooda ja kalsiumkarbonaatti eivät ole kovuudeltaan haitallisia jatkuvassa käytössä (Hara & Turssi, 2017; Lippert, 2013).

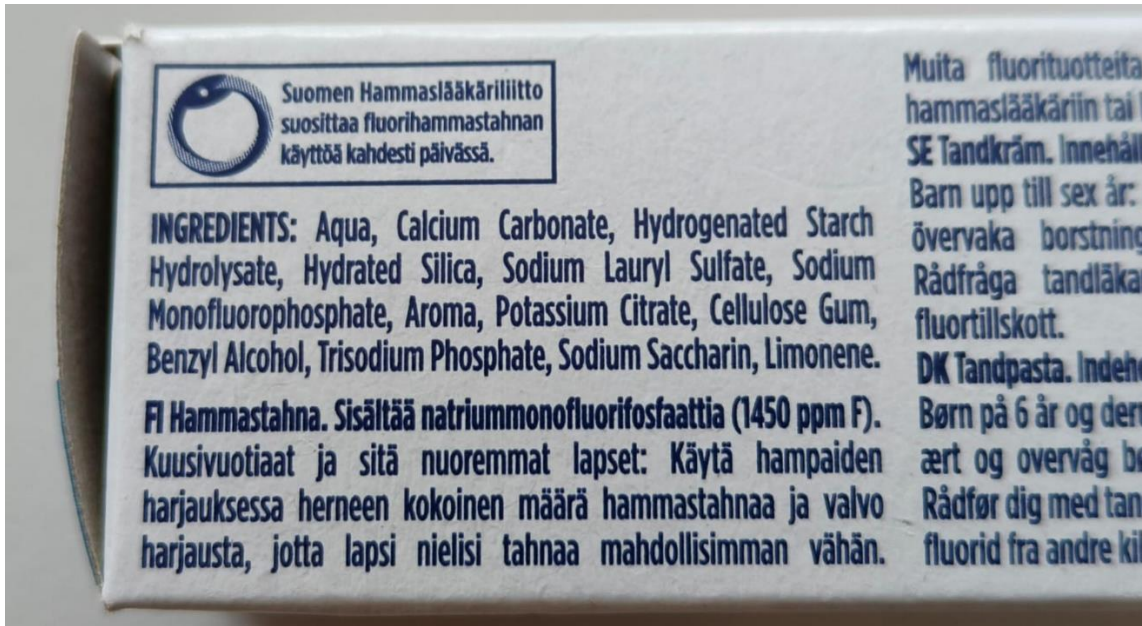
## 5 Kehittämistuotos

Tässä luvussa esitellään kehittämistutkimuksen tuloksena syntynyt tuotos. Luvussa 5.1 avataan työn alkuosiota, jossa tutustutaan hammastahnan koostumukseen. Luvussa 5.2 kuvataan kokonaisuuden kokeellista osuutta.

### 5.1 Hammastahnan ominaisuuksien määrittely ja tiedonhaku

Opintokokonaisuus koostuu kahdesta osiosta: hammastahnan ainesosiin tutustumisesta ja oman hammastahnan valmistamisesta ja arvioinnista. Ensimmäisen osan tarkoitus on perehdyttää oppilaita hammastahnan koostumukseen ja vahvistaa opetustilanteen yhteyttä oppilaiden omiin kokemuksiin. Osiossa ensin kartoitetaan, millaisia ominaisuuksia hammastahnalla halutaan olevan ja sitten muodostetaan niiden perusteella ainesosaluokkia. Esimerkiksi hammastahnan voidaan haluta valkaisevan hampaita, jolloin sen tulee sisältää valkaisevia ainesosia. Hammastahnojen halutaan olla miellyttäviä käyttää, joten ne sisältävät muun muassa makuaineita. Luokkien muodostamisessa lähdetään liikkeelle oppilaiden omista kokemuksista ja tiedoista. Opettaja voi tarvittaessa tukea oppilaita pohtimaan, millaisia ominaisuuksia hammastahnalla halutaan olla terveydellisistä syistä tai käyttömukavuuden, säilyvyyden ja koostumuksen takia.

Seuraavassa vaiheessa tutustutaan johonkin kaupallisen hammastahnan ainesosaluetteloon, ja luokitellaan ainesosat aiemmin muodostettuihin ryhmiin COSMILE Europe -tietokannan avulla. COSMILE Europe -tietokanta on Euroopan kosmetiikkajärjestö Cosmetics European ylläpitämä ainesosientietokanta, jonka tiedot perustuvat Euroopan unionin CosIng-tietokantaan. COSMILE Europe -tietokannan etuna verrattuna CosIng-tietokantaan on helppokäyttöisyys ja suomenkielisyys. Luokittelua varten opettajan on hyvä varmistaa, että valitun hammastahnan osalta tarvittavat ainesosaryhmät on nimetty ensimmäisessä vaiheessa. Seuraavaksi on esitetty esimerkkitutetus luokittelusta. Kuvassa 9 on esitetty Pepsodent Super Fluor -hammastahnan ainesosaluettelo. Ainesosien luokittelu on tehty taulukossa 4.



Kuva 9. Pepsodent Super Fluor -hammastahnan ainesosaluettelo.

Yksittäisellä aineella saattaa olla useampi käyttökohde, kuten esimerkkituotteen sisältämällä bentsyylialkoholilla. Bentsyylialkoholi estää mikrobien kasvua tuotteessa, joten se on säilöntäaine. Lisäksi se vaikuttaa tuotteen hajuun, joten se voidaan luokitella myös hajusteeksi. Hammastahnoissa pyritään hyödyntämään aineita, joilla on useita haluttuja ominaisuuksia (Lippert, 2013).

Taulukko 4. Pepsodent Super Fluor -hammastahnan ainesosat luokiteltuna.

Ainesosaluokka	Ainesosat
Liutotin	Vesi ( <i>Aqua</i> )
Hiova aine	Kalsiumkarbonaatti ( <i>Calcium carbonate</i> ) Hydratoitu piidioksidi/ piihappo ( <i>Hydrated silica</i> )
Fluoria sisältävä aine	Natriummonofluorofosfaatti ( <i>Sodium monofluorophosphate</i> )
Vaahtoava aine	Natriumlauryylisulfaatti ( <i>Sodium lauryl sulfate</i> )
Kosteutta sitova aine (humektantti)	Hydrogenoitu tärkkelyshydrolysaatti/ muokattu tärkkelys ( <i>Hydrogenated starch hydrolysate</i> )
Makuaine	Aromi ( <i>Aroma</i> ) Natriumsakkariini ( <i>Sodium saccharin</i> )
Hajuste	Limoneeni ( <i>Limonene</i> ) Bentsyylialkoholi ( <i>Benzyl alcohol</i> )
Happamuudensäätöaine	Kaliumsitraatti ( <i>Potassium citrate</i> )

	Trinatriumfosfaatti ( <i>Trisodium phosphate</i> )
Stabilointiaine	Selluloosakumi ( <i>Cellulose gum</i> )
Säilöntäaine	Bentsyylialkoholi ( <i>Benzyl alcohol</i> )

## 5.2 Kokeellinen osio: hammastahnan valmistus ja testaus

Kokeellisessa osiossa oppilaat aluksi valmistavat itse hammastahnaa. Valmistamisen jälkeen oppilaat havainnoivat valmistamansa hammastahnan koostumusta, sen ominaisuuksia käytön aikana ja vertailevat sitä kaupalliseen hammastahnaan. Tässä tutkimuksessa kehitettiin kolme yksinkertaista hammastahnareseptiä. Ensimmäinen hammastahnoista valmistetaan glyseriinistä, ruokasoodasta, ruokasuolasta ja vedestä, toinen kalsiumkarbonaattijauheesta ja kookosöljystä ja kolmas savijauheesta ja kookosöljystä. Kaikkiin hammastahnoihin voi lisätä piparminttuaromia mauksi. Kokeellisen osion työohje on liitteessä 1.

Testausvaiheessa oppilaat tutkivat valmistamansa hammastahnan ominaisuuksia ja kirjaavat havaintonsa työmonisteeseen. Oppilaat voivat testata hammastahnaa hampaidenharjauksessa. Vaihtoehtoisesti oppilaat voivat tutkia tahnan käyttäytymistä harjaamalla sitä kämmeneensä tai muuta pintaa vasten. Testausvaiheessa oppilaat pääsevät harjoittelemaan havaintojen tekemistä moniastillisesti. Näkö- ja kuulohavaintojen lisäksi oppilaat voivat hyödyntää maku-, haju- ja tuntoaistia, mikä yleensä kemiallisissa kokeissa ei ole mahdollista turvallisuuden takia. Oppilaat harjaantuvat tuotteiden arvioimisessa ja tutkimus auttaa ymmärtämään kemiallisten ainesosien tehtäviä. Työn tavoitteena on myös saada oppilaat ymmärtämään kemian merkitystä arjen tuotteissa ja jopa arvostamaan kemiallisia tuotteita enemmän.

## 6 Kehittämistuotoksen arviointi

Tässä luvussa esitellään sitä, miten valmista kehittämistuotosta arvioitiin. Tässä tutkimuksessa arviointi toteutettiin laadullisena tapaustutkimuksena, joka koostui tuotoksen testaamisesta oppilasryhmällä ja oppilaiden kokemuksista keräämisestä kyselyn avulla. Kyselyllä kerättiin sekä määrällistä että laadullista dataa. Määrällisiä tuloksia analysoitiin tilastollisesti. Laadulliselle aineistolle tehtiin sisällönanalyysi.

### 6.1 Tutkimusasetelma

Tapaustutkimuksessa kehittämistutkimuksen tuotosta testattiin kahdella yläkoululaisryhmällä. Tuotoksen testaus ja kyselyyn vastaaminen tapahtui Helsingin yliopiston tiloissa osana oppilasryhmien opintokäyntiä Kemianluokka Gadolinissa. Tutkimuksen lisäksi opintokäyntiin kuului tiedeluokan kokeellinen työ, jossa valmistetaan nestetyyppijäätelöä, ja demonstraatioita nestetyypen avulla. Tutkimus toteutettiin opintokäynnin alussa.

Tutkimukseen osallistui kaksi yläkouluryhmää ja kyselyyn vastasi yhteensä 23 oppilasta. Oppilaat olivat kahdeksasluokkalaisia ja opiskelivat pääkaupunkiseudun kouluissa. Oppilasryhmiä etsittiin tutkimukseen mainostamalla opintokäyntiä Helsingin yliopiston tiedeluokan Kemianluokka Gadolinin Facebook-sivuilla ja kemianopettajille suunnatussa Facebook-ryhmässä. Molempien tutkimukseen osallistuneiden ryhmien opettajat olivat aiemmin työskennelleet Kemianluokka Gadolinissa tiedeohjaajina. Ryhmien opintokäynnit toteutettiin samana päivänä. Tutkimus toteutettiin viimeisellä viikolla ennen oppilaiden kesälomien alkamista. Viimeisellä viikolla kouluissa ei yleensä järjestetä oppilaiden arvosanaan vaikuttavaa opetusta. Kyselyn tuloksien käsittelyssä ei erotella ryhmien vastauksia toisistaan pienen osallistujamäärän ja vastaajien anonyymiyden suojaamiseksi.

Tuloksien käsittelyssä ei huomioitu kolmen vastaajan vastauksia. He olivat vastanneet jokaisessa kohdassa täysin eri mieltä, mutta avoimen osion vastauksien perusteella työ ei heidän mukaansa vaikuttanut mitenkään heidän käsitykseensä kemian merkityksestä yhteiskunnassa. Annettujen vastausten perusteella työn pitäisi heikentää kokemusta kemian merkityksellisyydestä. Vastaajat tunsivat tutkijan entuudestaan, joten oli mahdollista, että annettu palaute oli kohdennettu tutkijaan eikä toteutettuun työhön. On oletettavaa, että kyseiset vastaajat eivät kokeneet työtä

kuitenkaan erityisen hyödyllisenä, joten huomioitujen tulosten antama kuva on luultavasti positiivisempi kuin se todellisuudessa tulisi olla.

## 6.2 Tutkimusinstrumentti

Tämän tutkielman tapaustutkimuksen aineisto kerättiin kyselytutkimuksen avulla. Kyselylomake on liitteessä 2. Kyselytutkimukset ovat yleinen datankeräysmenetelmä relevanssin tutkimisessa (Bennett, 2016). Instrumentin avulla haluttiin selvittää, miten kehittämistuotos vaikutti oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista Stuckeyn ym. (2013) relevanssimallin eri tasoilla. Kyselytutkimus valittiin menetelmäksi sen yleisyyden ja toteutuksen helppouden takia. Kyselytutkimuksen muita etuja on vastauksen anonyymiys, jolloin tutkijan läsnäolo vaikuttaa vähemmän vastaajien tuloksiin eivätkä he koe tarvitsevansa vastata tutkijan toivomien tulosten mukaisesti. Haasteena on, että kyselytutkimuksen avulla on vaikea varmistaa, että vastaaja ymmärtää kysymyksen ja onko vastaukset aitoja. (Hirsjärvi, 2009) Kyselylomake koostui suljetuista ja avoimista kysymyksistä. Suljettujen kysymysten vastausvaihtoehdot noudattivat viisiportaista Likert-asteikkoa.

Tutkimuksessa kartoitettiin vastaavien taustaa heidän kemian kiinnostuksen osalta. Oppijan kemian kiinnostus on yhteydessä oppilaan motivaatioon ja oppimistuloksiin (Hiltunen ym., 2023). Vastaajien sukupuolta ja sen vaikutusta relevanssiin ei tutkittu, koska opettajat eivät voi laajasti vaikuttaa ryhmiensä sukupuolijakaumaan. Keskimäärin opetusryhmissä on tasaisesti eri sukupuolien edustajia. Täten tutkijan mielestä sukupuolien välisten erojen tutkiminen ei ole niin hyödyllistä kuin kemian kiinnostuksen, johon opettajat saattavat paremmin vaikuttaa ja joka voi vaihdella opetusryhmittäin. Kiinnostusta kartoitettiin kyselyn ensimmäinen suljetun väittämän ”Kemia on minusta kiinnostavaa” avulla. Muiden suljettujen väittämien ja kahden ensimmäisen avoimen kysymyksen avulla selvitettiin tuotoksen vaikutuksia kemian relevanssin eri tasoihin. Kolmannella avoimella kysymyksellä oppilaat saivat antaa avointa palautetta tutkimuksesta ja terveisiä tutkijalle. Niitä ei analysoitu tutkimuksessa.

Kyselylomakkeen osien muotoilussa hyödynnettiin aiempia relevanssia mitanneita tutkimuksia (Blomgren, 2018; Howell ym., 2021). Blomgren (2018) tutki kyselytutkimuksen avulla oppilaiden ja opettajien näkemyksiä non-formaalin oppimisympäristön relevanssista. Howell ym. (2021) tutkivat museokävijöiden

kokemaa relevanssia. Molemmissa tutkimuksissa hyödynnettiin Stuckeyn ym. (2013) relevanssimallia kyselyn muotoilussa. Kyselyn osiot laadittiin siten, että ne mittaavat Stuckeyn ym. (2013) relevanssimallin relevanssin tasoja ja ulottuvuuksia.

Kyselylomakkeen suljetut osiot ja niiden mittaamat tasot on eritelty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kyselylomakkeen (LIITE 2) sisältämät väitteet ja niiden mittaama relevanssin taso ja ulottuvuudet

Väittäjä	Relevanssin taso	Ajallinen ulottuvuus	Sisäinen-ulkoinen
Työ antoi minulle hyödyllistä tietoa hammastahnasta	Henkilökohtainen	Nykyhetki	Sisäinen
Hammastahna-aihe lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan	Henkilökohtainen	Nykyhetki	Sisäinen
Kokeellinen työskentely lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan	Henkilökohtainen	Nykyhetki	Sisäinen
Työ auttoi minua ymmärtämään kemian merkitystä omassa arjessani	Henkilökohtainen	Nykyhetki	Sisäinen
Opin työn aikana asioita, joista on minulle hyötyä tulevaisuudessa	Henkilökohtainen	Tulevaisuus	Sisäinen
Työ auttoi minua ymmärtämään sitä, miten kemia vaikuttaa yhteiskuntaan	Yhteiskunnallinen	Nykyhetki	Ulkoinen
Vierailun ansiosta arvostan enemmän kemian alaa	Yhteiskunnallinen	Nykyhetki	Ulkoinen
Opin työn aikana laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia taitoja	Ammatillinen	Nykyhetki	Sisäinen
Sain vierailulla tietoa kemiaan liittyvistä ammateista	Ammatillinen	Nykyhetki	Ulkoinen
Vierailu lisäsi kiinnostustani työskennellä kemiaan liittyvässä ammatissa	Ammatillinen	Tulevaisuus	Sisäinen

Kyselyssä oli suljettujen osien lisäksi kolme avointa osiota. Ensimmäisen ja toisen avoimen osion avulla pyritään kartoittamaan tarkemmin kahden suljetun väitteen vastausta. Ensimmäisen avoimen osion ”Kuvaile, mitä tulevaisuudessa hyödyllisiä asioita opit työn aikana” avulla selvitettiin tarkemmin vastaajien hyödylliseksi

kokemiaan työn aikana opittuja asioita. Kysymys liittyi relevanssimallin tulevaisuusulottuvuuteen. Toinen avoin osio ”Kuvaile, miten työn vaikutti ymmärrykseesi kemian merkityksestä yhteiskunnassa” kartoitti sitä, miten tuotos vaikutti vastaajan käsitykseen kemian yhteiskunnallisesta relevanssista. Kyseiset osiot valittiin, jotta saatiin tarkempaa tietoa siitä, miten vastaajien kokemukset työstä liittyvät kemian relevanssiin. Viimeisen avoimen osion avulla pyritään keräämään muuta palautetta työstä ja ohjauksesta. Viimeisen avoimen osion tuloksia ei erikseen analysoitu tutkimuksessa, vaan ne toimivat yleisinä havaintoina tutkijalle.

Tutkimusinstrumentin luotettavuuteen vaikuttaa se, että kyselylomakkeesta arvioitiin vain ilmivaliditeetti (*eng. face validity*) eikä kyselyä pilotoitu aidoilla oppilailla ennen varsinaista tulosten keräystä. Ilmivaliditeettia arvioi kaksi kemian opetuksen alan ammattilaista, joiden huomioiden perusteella kyselyä kehitettiin.

### 6.3 Kyselyn tulokset

Tässä luvussa esitellään tapaustutkimuksen tulokset. Aluksi käsitellään suljettujen osioiden tuloksien tilastollinen analyysi (luku 6.3.1) ja sitten avoimien osioiden aineistolle tehty sisällönanalyysi.

#### 6.3.1 Tilastollinen analyysi

Suljettujen osioiden vastausvaihtoehdot olivat viisiportaisen Likert-asteikon mukaiset. Sanalliset vastausvaihtoehdot muunnettiin numeerisiksi asteikolla 1-5 siten, että täysin eri mieltä = 1, jokseenkin eri mieltä = 2, ei samaa eikä eri mieltä = 3, jokseenkin samaa mieltä = 4 ja täysin samaa mieltä = 5. En osaa sanoa -vastauksia ei huomioitu tuloksissa. Saaduista lukuarvoista laskettiin jokaiselle osiolle keskiarvo ja keskihajonta. Lisäksi samaan relevanssin tasoon liittyneistä osioista muodostettiin summamuuttujat, jolle määritettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Muita tilastollisia analysointimenetelmiä ei toteutettu otannan koon pienuuden takia. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

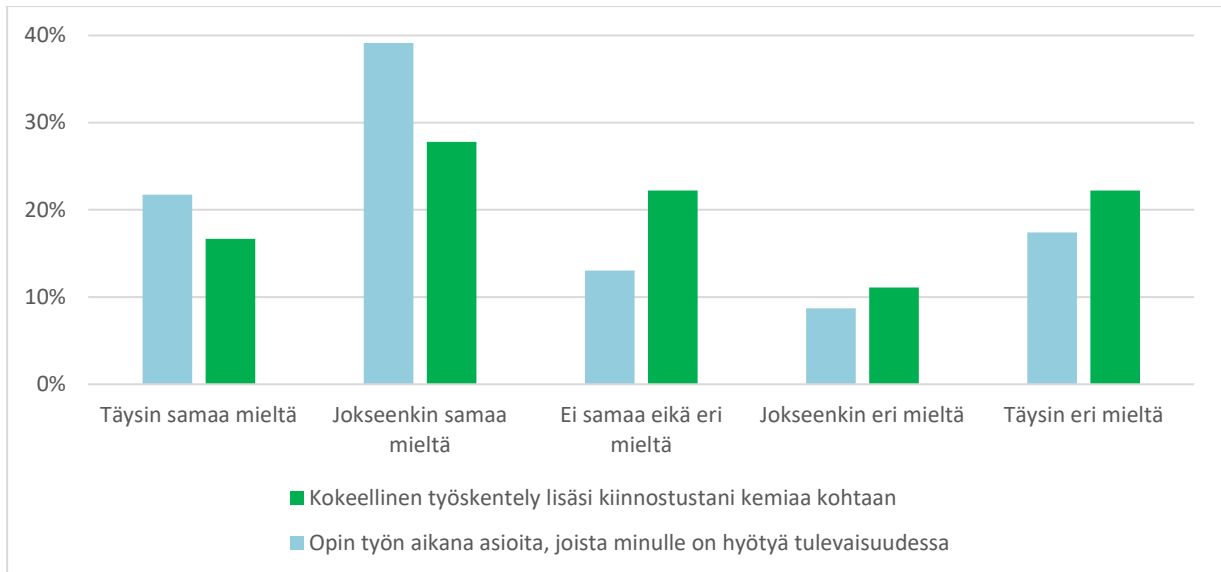
Taulukko 6. Suljettujen väittämien vastausprosentit, vastausten keskiarvo ja keskihajonta

Väittämä	Täysin samaa mieltä (%)	Jokseenkin samaa mieltä (%)	Ei samaa eikä eri mieltä (%)	Jokseenkin eri mieltä (%)	Täysin eri mieltä (%)	Keskiarvo	Keskihajonta
Kemia on minusta kiinnostavaa	17,4	47,8	21,7	8,7	4,3	3,7	1,0
Työ antoi minulle hyödyllistä tietoa hammastahnasta	30,0	47,8	8,7	13,0	0,0	4,0	1,0
Hammastahna-aihe lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan	13,0	21,7	34,8	13,0	17,4	3,0	1,3
Kokeellinen työskentely lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan	21,7	39,1	13,0	8,7	17,4	3,4	1,4
Työ auttoi minua ymmärtämään kemian merkitystä omassa arjessani	13,6	40,9	22,7	18,2	4,5	3,4	1,1
Opin työn aikana asioita, joista on minulle hyötyä tulevaisuudessa	16,7	27,8	22,2	11,1	22,2	3,1	1,4
Työ auttoi minua ymmärtämään sitä, miten kemia vaikuttaa yhteiskuntaan	19,0	38,1	19,0	14,3	9,5	3,4	1,2
Vierailun ansiosta arvostan enemmän kemian alaa	18,2	13,6	45,5	13,6	9,1	3,2	1,2
Opin työn aikana laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia taitoja	9,1	36,4	4,5	22,7	27,3	2,8	1,4
Sain vierailulla tietoa kemiaan liittyvistä ammateista	9,5	14,3	28,6	19,0	28,6	2,6	1,3
Vierailu lisäsi kiinnostustani työskennellä kemiaan liittyvässä ammatissa	14,3	23,8	19,0	14,3	28,6	2,8	1,4

Kyselyn ensimmäiseen osioon, jonka avulla kartoitettiin vastaajien kemian kiinnostusta, suurin osa vastasi myönteisesti tai neutraalisti. Kemian koki vähän tai ei lainkaan kiinnostavaksi vain kolme vastaajaa. Hyvin pienen kielteisesti suhtautuvan vastaajien lukumäärän takia tutkimuksessa ei ollut järkevää vertailla tulosten eroja kemiasta kiinnostuneisuuden perusteella. Vertailun oli alun perin tarkoitus olla osa tutkimusta.

Suljettujen osioiden tuloksien keskiarvot olivat lähellä lukuarvoa 3, mikä vastasi neutraalia vastausvaihtoehtoa. Vain väittämä ”työ antoi minulle tietoa hyödyllistä tietoa hammastahnasta” erosi siitä yli 0,5. Kyseinen väittämän keskiarvo oli 4 eli ”jokseenkin samaa mieltä”. Kolmen osion keskiarvo oli hieman alle 3. Kyseiset osioiden väittämät olivat ”Opin työn aikana laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia taitoja”, ”Sain vierailulla tietoa kemiaan liittyvistä ammateista” ja ”Vierailu lisäsi kiinnostustani työskennellä kemiaan liittyvässä ammatissa”. Ne kaikki mittaavat työn vaikutusta ammatilliseen relevanssiin. Relevanssin tasoille määritettyjen summamuuttujien keskiarvot tukevat havaintoa ammatillista relevanssia mittaavien osioiden matalammista tuloksista. Henkilökohtaisen relevanssin (kyselyn osiot 2–6) summamuuttujan keskiarvo oli 3,4 ja keskihajonta 1,3. Yhteiskunnallisen relevanssin (kyselyn osiot 7–8) summamuuttujan keskiarvo oli 3,3 ja keskihajonta 1,2. Ammatillisen relevanssin keskiarvo oli 2,7 ja keskihajonta 1,4.

Osassa henkilökohtaista relevanssia mittaavissa osioissa havaittiin vastausten kahtiajakautumista. Erityisesti osioiden ”Kokeellinen työskentely lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan” ja ”Opin työn aikana asioita, joista minulle on hyötyä tulevaisuudessa” vastauksissa suurin osa vastauksista painottui lukuarvon 4 ympäristöön, mutta merkittävä vähemmistö vastasi olevansa täysin eri mieltä väittämän kanssa. Kyseisten osioiden tulokset on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Osioiden *Kokeellinen työskentely lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan* ja *Opin työn aikana asioita, joista minulle on hyötyä tulevaisuudessa* tulokset.

### 6.3.2 Sisällönanalyysi

Avoimien osioiden sisällönanalyysi toteutettiin mukailemalla Tuomen ja Sarajärven (2018) teoriaohjaavaa sisällönanalyysimallia. Menetelmässä muodostetaan aineiston pohjalta alaluokat, jotka liitetään teoriasta lähtöisin oleviin yläluokkiin (Sarajärvi & Tuomi, 2017). Tutkimuksessa saadut vastaukset olivat valmiiksi pelkistettyjä eikä erillistä pelkistämävaihetta tarvinnut tehdä. Tutkimuksessa yläluokiksi määriteltiin Stuckeyn ym. (2013) relevanssimallin relevanssin tasot: henkilökohtainen, yhteiskunnallinen ja ammatillinen relevanssi. Osa analyysin aikana muodostuneista alaluokista liittyi selkeästi useampaan yläluokkaan. Tällöin muodostettiin uusi yhdistetty yläluokka. Tämä poikkeaa Tuomen ja Sarajärven (2018) teoriaohjaavasta sisällönanalyysimallista, jossa yläluokkia ei muokata aineistolle sopiviksi. Ensimmäisen avoimen osion sisällönanalyysi on esitetty taulukossa 7 ja toisen osion taulukossa 8.

Taulukko 7. Teoriaohjaava sisällönanalyysi ensimmäiselle avoimelle osiolla: Kuvaile, mitä tulevaisuudessa hyödyllisiä asioita opit työn aikana.

Esimerkkivastaus	Alaluokka	Relevanssin taso (yläluokka)	Havaintojen määrä
<i>Miten tehdä hammastahnaa astiaan</i>	Taito valmistaa hammastahnan	Henkilökohtainen	4
<i>Opin mitä kaikkea hammastahnassa on</i>	Hammastahnan koostumuksen tuntemus	Yhteiskunnallinen	3
<i>Opin, että Cosmolestä voi tarkastaa mitä jokin aine on</i>	Tiedonhakutaidot	Henkilökohtainen/ ammattillinen	3
<i>Ei saa vetää liikaa fluoria</i>	Tuotteiden kemikaalien terveydellisten häirtavaikutusten tuntemus	Henkilökohtainen	3
<i>Minkälaisen hammastahnan kannattaa hankkia</i>	Kosmetiikkatuotteen arviointikyky	Henkilökohtainen	1
<i>Tiedän enemmän ainesosien käyttötarkoituksia</i>	Kosmetiikkakemikaalien käyttötarkoitukset	Henkilökohtainen/ yhteiskunnallinen	1
<i>Opin kemian perustaitoja, joilla voin jatkossa päteä</i>	Sosiaalinen pääoma	Henkilökohtainen	1
<i>En mitään ellei musta tuu jotain kemistiä</i>	(Mahdollinen) ammatillinen osaaminen	Ammatillinen	1

Taulukko 8. Teoriaohjaava sisällönanalyysi toiselle avoimelle osiolla: Kuvaile, miten työn vaikutti ymmärrykseesi kemian merkityksestä yhteiskunnassa.

Esimerkkivastaus	Alaluokka	Relevanssin taso (yläluokka)	Havaintojen määrä
<i>Ymmärsin, että tuotteiden kemiallisia ainesosia on paljon ja kemia on siksi tärkeää</i>	Kemian merkitys tuotteiden valmistamisessa	Yhteiskunnallinen	4
<i>Arvostan enemmän hammastahnoja</i>	Arkielämän tuotteiden arvostus	Henkilökohtainen/ yhteiskunnallinen	1
<i>Kemialla on iso vaikutus yhteiskunnassa</i>	Kemian yhteiskunnallinen merkitys	Yhteiskunnallinen	1
<i>Sain tarkemman kuvan siitä, miten tuotteita kehitetään</i>	Tuotekehitys	Yhteiskunnallinen	1

Ensimmäiseen avoimeen osioon vastasi noin puolet oppilaista. Relevanssin tasoista vastauksissa korostui henkilökohtainen relevanssi. Yhteiskunnallinen ja ammatillinen relevanssi esiintyivät myös vastauksissa. Oppilaat mainitsivat

hyödyllisiksi opituiksi asioiksi muun muassa taidon valmistaa hammastahnaa, hammastahnan koostumuksen tuntemisen, tiedonhakutaidot ja hammastahnan ainesosien haittavaikutukset.

Toiseen avoimeen osioon vastasi vain muutama osallistuja. Osion kysymysasettelun mukaisesti kaikki vastaukset liittyvät yhteiskunnalliseen relevanssin tasoon. Yhden vastauksen maininta vastaajan hammastahnojen arvostamisen lisääntyminen liittyy myös henkilökohtaiseen relevanssin tasoon. Toisen osion vastauksien perusteella työ auttoi ymmärtämään tuotteiden kemiallisten ainesosien monipuolisuutta ja siten kemian merkitystä tuotteiden valmistukselle.

## 7 Johtopäätökset

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen kehittämisprosessin aikana ja tuotosten arvioinnista saatujen tulosten pohjalta tehtyjä havaintoja ja johtopäätelmiä. Ensimmäisessä aluvussa 7.1 vastataan teoreettisen ongelma-analyysin perusteella ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Toisessa aluvussa 7.2 pohditaan hammastahnakontekstin sopivuutta perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden mukaiseen kemian opetukseen (TK2). Kolmannessa aluvussa 7.3 tarkastellaan kehitetyn tuotoksesta saatuja tuloksia. Viimeisessä aluvussa 7.4 pohditaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

### 7.1 Kontekstipohjaisen opetuksen mahdollisuudet ja haasteet relevanssin tukemisessa (TK1)

Kontekstipohjainen opetus on kehitetty vastaamaan tarpeeseen lisätä opetuksen relevanssia (Gilbert, 2006). Kontekstipohjaisessa opetuksessa pyritään tekemään opetuksesta relevanttia lähestymällä opettavia aiheita oppijan tai yhteiskunnan kannalta merkityksellisten kontekstien avulla. Useissa tutkimuksissa onkin saatu viitteitä kontekstipohjaisten opetusmenetelmien positiivisista vaikutuksista oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista ja kiinnostavuudesta (mm. Broman ym., 2011; Howell ym., 2021; Mundy & Nokeri, 2024; Pernaa ym., 2022). Lähestymistapaa on myös kritisoitu sen määritelmän epämääräisyyden takia (Gilbert, 2013). Kontekstipohjaiseksi opetuksiksi saattaa saatetaan kutsua kaikkea opetusta, jossa jokin konteksti on opetuksessa läsnä. Tämä voi yksinkertaisimmillaan olla sitä, että jonkin kemian sisältöaiheen opetuksen jälkeen mainitaan muutama aiheeseen sopiva esimerkki. Tämä ei kuitenkaan eroa perinteisestä opetuksesta eikä sitä ole perusteltua esittää uutena lähestymistapana. Hyödynnettävän kontekstin tulisi ohjata opetusta kontekstille omaisella tavalla (De Vos ym., 2014).

Jotta kontekstipohjainen opetus oli relevanttia, kontekstin valinnan tulee olla perustelua. Kontekstipohjaisuus ei ole itseisarvo vaan kontekstin tulisi edistää oppilaan arjen, tulevan ammatin tai yhteiskunnan kannalta tarpeellisten asettamien tietojen ja taitojen oppiminen. Kontekstin merkittävyyden tulisi olla myös oppilaalle ilmeinen (Eilks & Hofstein, 2015). Usein kontekstien valinnan tekee opettaja, jonka käsitys oleellisista konteksteista voi erota oppilaan mielenkiinnon kohteista. Lisäksi opettajan ymmärrys konteksteista ja kemian sisällöstä eroaa oppilaan osaamisesta.

Tällöin valittu konteksti ei ole oppilaalle relevantti tai sen hyödyntäminen voi olla oppilaan osaamistasolla liian haastava (Bolte ym., 2013). Kontekstien tulisi soveltaa yhtä oppilaille uutta sisältöasiaa kerrallaan, jolloin uuden asian oppiminen on helpompaa. Kontekstissa opittuja asioita ja taitoja tulisi pystyä siirtämään muihin konteksteihin, jotta opituista asioista muodostuu oppijalle eheä kokonaisuus ja opetus vastaa sille asetettuihin tavoitteisiin kemian sisältöjen hallitsemisesta (Sheldrake ym., 2017).

Kontekstuaalisen opetuksen hyödyntämisen on havaittu aiheuttavan haasteita opettajille. Heille on vaikeaa hyödyntää konteksteja, joista heillä ei ole laajasti osaamista. Uusien opetuskokonaisuuksien kehittäminen vaatii myös resursseja. Tutkimuksissa on havaittu, että opettajat tarvitsevat valmiita opetusmateriaaleja ja käytännön esimerkkejä teorian soveltamiseksi toimintansa tueksi (Bennett ym., 2007).

## **7.2 Hammastahnakontekstin soveltuvuus peruskoulun opetussuunnitelman suunnitelman mukaiseen kemian opetukseen (TK2)**

Tutkimuksen pragmaattisessa ongelma-analyysissä (kts. luku 3.6) havaittiin hammastahnakemian soveltuvan useaan kemian perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2014) sisältöalueisiin ja tavoitteisiin. Hammastahna on arjen tuotteena esimerkki kemian merkityksestä oppijan omassa elämässä kuin hyvinvointia tukevana aineena esimerkki kemian merkityksestä yhteiskunnassa. Hammastahna sisältää useita eri kemiallisia aineita, joiden rakennetta, ominaisuuksia ja muutoksia voidaan tarkastella. Hammastahnakontekstiin voidaan yhdistää myös tutkimuksellisuutta, kuten tässä tutkimuksessa on tehty.

Tutkimuksen ongelma-analyysissä ehdotettiin peruskoulutasolle sopiviksi hammastahnakemian aiheiksi happamuuden tai ioniyhdisteiden yhteydessä happohyökkäykset ja fluoridiyhdisteiden ehkäisevä vaikutus. Lisäksi orgaanisiin yhdisteryhmiin tutustuttaessa voidaan tutustua pahanhajuisen hengityksen aiheuttavien rikkiyhdisteiden muodostumiseen ja sen estoaineiden kemiaan. Hammastahnakemian liittyviä kemian aiheita valittaessa tulee huomioida oppijoiden osaamistaso. Esimerkiksi valkaisevien hammastahnojen toimintaperiaatteiden ja terveysvaikutusten tarkastelu on perusteltua peruskoulun opetussuunnitelman

perusteiden tavoitteiden osalta, koska se auttaa oppilasta ymmärtämään kemian merkitystä omassa elämässä ja arvioimaan omia valintojaan. Valkaisun kemia kuitenkin liittyy hapettumisreaktioihin, jotka voivat olla haastavia oppilaan ymmärtää.

Hammastahnakontekstin avulla voidaan tukea oppilaiden kykyä arvioida erilaisia tietolähteitä ja omien valintojen tekemistä esimerkiksi tutustumalla hammastahnoista esitettyihin terveystietoihin tai vertailemalla kaupallisten ja itsetehtyjen hammastahnojen turvallisuutta ja terveydellisiä vaikutuksia.

Hammastahnaa voidaan myös hyödyntää havainnollistamaan kosmetiikka- ja kemian tuotteisiin liittyvää tutkimusta, tuotekehitystä ja lainsäädäntöä.

Kuten edellä on esitetty, hammastahnakontekstia voidaan hyödyntää monipuolisesti kemian opetuksessa. Vaikka hammastahnakonteksti voidaan liittää useaan peruskoulun kemian sisältöalueeseen, on hyvä kriittisesti arvioida, soveltuuko jokin muu konteksti paremmin tavoitteeseen. Kontekstin pitää Hammastahnan hyödyntämistä kemian opetuksen kontekstina on tämän mennessä tutkittu vain vähän, joten sovellusmahdollisuuksia on tärkeä kartoittaa lisää.

### **7.3 Opintokokonaisuuden vaikutus oppilaiden kokemukseen kemian relevanssista (TK3)**

Tässä kehittämistutkimuksessa pyrittiin kehittämään hammastahnakontekstiin liittyvä opintokokonaisuus, joka tulisi oppilaiden kokemusta kemian relevanssista. Toteutetun tapaustutkimuksen perusteella opintokokonaisuuden vaikutus relevanssiin on melko vähäinen. Luvussa 6.3 esitettyjen kyselyn tulosten perusteella tuotos vaikutti positiivisesti osallistujien kokemukseen kemian relevanssista henkilökohtaisella ja yhteiskunnallisella tasolla mutta ei ammatillisella relevanssin tasolla.

Saatujen tulosten perusteella hammastahna ei vaikuttanut oppilaista erityisen mielekkäältä kontekstilta. Väittämään ”Hammastahna-aihe lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan” sai keskiarvoksi 3,0, mikä vastaa vastausvaihtoehtoa ”ei samaa eikä eri mieltä”. Tutkimuksen tekijän ennako-oletus oli, että konteksti olisi ollut oppilaista hieman kiinnostavampi. Hammastahnakontekstin relevanssia ei ole aiemmin tutkittu, mutta on vastaavia tuloksia on saatu aiemmissa tutkimuksissa

puhdistusaineille ja saippuolle, joihin hammastahna voi rinnastua (Lavonen ym., 2008). Toisaalta kosmetiikan on havaittu kiinnostavan oppilaita (Marks & Eilks, 2010). Kokeellinen työskentely lisäsi paremmin kemian kiinnostavuutta, sillä sitä mittaava osio sai keskiarvoksi 3,4. Kokeellisen työskentelyn on todettu yleisesti lisäävän oppilaiden innostusta kemian opintoja kohtaan (Hofstein ym., 2013).

Tuotoksen tavoitteena oli erityisesti auttaa oppilaita ymmärtämään kemian paremmin kemian merkitystä heidän arjessansa ja yhteiskunnallisten sovellusten, kuten terveyttä edistävän hammastahnan, mahdollistajana. Saatujen tulosten perusteella kehitetty opetuskokonaisuus edisti haluttuja tavoitteita, sillä osiot ”Työ auttoi minua ymmärtämään kemian merkitystä omassa arjessani” ja ”Työ auttoi minua ymmärtämään sitä, miten kemia vaikuttaa yhteiskuntaan” saivat molemmat keskiarvoksi 3,4, joka on korkea suhteessa muiden osioiden keskiarvoihin. Toki 3,4 sijoittuu vastausvaihtoehtojen ”jokseenkin samaa mieltä” ja ”ei samaa eikä eri mieltä” välimaastoon, joten vaikutus ei ole järin suuri. Ammatillista relevanssia mitanneet osiot saivat heikoimmat tulokset, mikä ei ollut suuri yllätys, koska osa-aluetta ei erityisesti painotettu opetuskokonaisuudessa.

Tuloksien perusteella havaittiin, että työn yhteydessä opittujen asioiden hyödyllisyydestä tulevaisuudessa jakoi oppilaiden mielipiteitä. Iso osa koki työn tarjoavan jonkinlaista hyödyllistä tietoa tai osaamista, mutta pienempi vähemmistö ei kokenut työtä lainkaan hyödylliseksi. Vastaava kahtiajakautuminen havaittiin myös kokeellisen työskentelyn kiinnostavuuden osalta. Syytä tälle ei voitu päätellä saaduista vastauksista.

Saatuja tuloksia tarkasteltaessa on hyvä huomioida tulosten luotettavuuteen ja yleistettävyyteen vaikuttaneita asioita. Tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden määrä oli pieni, joten saatuja tuloksia ei ole perusteltua laajentaa koskemaan koko ikäryhmää. Tutkimustilanne on voinut myös vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Tutkija tunsu toisen tutkimukseen osallistuneista oppilasryhmistä. Hän oli toiminut aiemmin heidän sijaisensa koulussa. Ohjauksen aikaisten havaintojen perusteella tämä vaikutti osan oppilaiden asenteeseen positiivisesti mutta suurempaan osaan negatiivisesti.

Tutkimusasetelma ei vastaa oppilaiden normaalia oppituntia, sillä tutkimus järjestettiin opintovierailun yhteydessä. Oppilaiden asennoitumiseen saattoi

vaikuttaa myös se, että opintokäynti järjestettiin viimeisellä kouluviikolla ennen oppilaiden kesälomien alkua. Oppilaat voivat kokea opetuksen erilaiseksi kuin normaalilla oppitunnilla, joka voi vaikuttaa heidän arvosanaansa.

Toisaalta kehitystuotoksen tehnyt tutkija kehitti myös tutkimusinstrumentin, jonka avulla kerättiin tietoa tuotoksen toimivuudesta. Tutkijan tavoite luoda kemian relevanssia tukeva opetuskokonaisuus voi vaikuttaa kyselyn kysymysten muotoiluun. Tutkija myös ohjasi opetuskokonaisuuden ja kyselyyn vastaamisen. Tämä voi aiheuttaa tulosten vaikuttavan positiivisemmilta kuin ne ovat.

Tutkimukseen osallistuneet ryhmät ovat valikoituneet osallistujien hakutavan perusteella. Ryhmiä haettiin Kemianluokka Gadolinin ja kemianopettajille suunnatun Facebook-sivun avulla. Molempien ryhmien opettajat ovat toimineet aiemmin Kemianluokka Gadolinissa tiedeohjaajina, joten heidän voi olettaa hyödyntävän keskimääräistä enemmän tutkimuksellisia opetusmenetelmiä, mikä voi vaikuttaa oppilaiden kokemukseen kokeellisen työskentelyn kiinnostavuudesta.

Avoimien vastausten perusteella oppilaat kokivat kosmetiikkatietokannan käytön hyödyllisenä osana opetusta. Tiedonhakuharjoitus ei ollut osa kokonaisuutta alkuperäisessä kehittämissuunnitelmassa vaan se lisättiin kehittämisprosessin aikana tehdyn arvioinnin perusteella. Iteroiva kehittäminen on osa kehittämistutkimuksen luonnetta. Voidaan siis todeta, että kehittämistutkimuksen valinta käytetyksi tutkimusstrategiaksi paransi tutkimuksen laatua.

#### **7.4 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuksen tarve**

Tutkimus tarjosi kiinnostavaa tietoa hammastahnan soveltuvuudesta kemian opetuksen kontekstiksi. Aihetta ei ole aiemmin juuri tutkittu. Tutkimus tarjosi tietoa siitä, miten hammastahnaa ja sen kemiaa voidaan hyödyntää peruskoulun opetussuunnitelman mukaisessa kemian opetuksessa. Kehittämisprosessin aikana saatiin hammastahnaan kokeellisen työn kehittämiseen liittyvää tietoa, jota on mahdollista hyödyntää muissa kehittämistutkimuksissa.

Kehittämistuotos tarjoaa opettajille kontekstipohjaisen opetusmateriaalin, jonka avulla voidaan havainnollistaa oppilaille kemian merkitystä arjen tuotteille ja yhteiskunnalle. Tutkimuksessa kehitettiin kokeellinen työ, jossa voidaan hyödyntää näköhavaintojen lisäksi maku-, haju- ja tuntoaistia. Kehitystuotoksen avulla voidaan

monipuolista kokeellista työskentelyä. Tutkimus on merkityksellinen myös siksi, että se vastaa opettajien tarpeeseen saada uusiin opetusmenetelmiin liittyvää opetusmateriaalia (Bennett, 2016).

Tämä tutkimus tarjoaa useita jatkotutkimusaiheita. Tässä tutkimuksessa kehitettyä opetusmateriaalia olisi tärkeää testata jatkotutkimuksessa laajemmalla oppilasryhmällä. Nyt saadut tulokset eivät ole yleistettävissä pienen osallistujamäärän takia. Kehittämistuotos pitäisi antaa opettajien testattavaksi, jotta saataisiin tietoa opettajien tarpeista aiheen opetukseen liittyen. Tämän tutkimuksen tapaustutkimuksessa opetuskokonaisuuden ohjasi tutkimuksen tekijä, jolla on keskiverto-opettajaa kattavampi osaaminen hammastahnan ainesosien kemiasta ja kosmetiikkatietokantojen käyttämisestä. Opetusmateriaalien soveltuvuus normaaliin opetukseen tulisi varmistaa. Jatkotutkimuksissa tulisi kehittää työhön liittyvä tukimateriaali opettajille. Opetuksen tutkimuksen kannalta olisi arvokasta selvittää sitä, mitkä opetuskokonaisuuden osat tukevat oppilaan kokemusta kemian opetuksen relevanssin eri tasoja. Saatuja tietoja voitaisiin hyödyntää jatkossa hammastahnaan ja kosmetiikkaan liittyvän kontekstipohjaisen opetuksen kehittämisessä. Jatkotutkimuksissa voitaisiin myös tutkia sitä, että voidaanko hammastahnakontekstissa opittuja taitoja soveltaa muissa konteksteissa.

## Lähteet

- Amri, E., & Mamboya, F. (2012). Papain, a plant enzyme of biological importance: A review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 8(2), 99–104. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2012.99.104>
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Bennett, J. (2016). Bringing Science to Life: Research Evidence. Teoksessa R. Taconis, P. den Brok, & A. Pilot, *Teachers Creating Context-Based Learning Environments in Science* (ss. 21–39). Springer.
- Bennett, J., & Holman, J. (2003). *Context-Based Approaches to the Teaching of Chemistry: What are They and What Are Their Effects?* (ss. 165–184). [https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X\\_8](https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_8)
- Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347–370. <https://doi.org/10.1002/sce.20186>
- Blomgren, P. (2018). *Kemian non-formaalien oppimisympäristön relevanssi oppilaiden ja opettajien näkökulmista* [Maisterintutkielma]. Helsingin yliopisto.
- Bolte, C., Streller, S., & Hofstein, A. (2013). How to motivate students and raise their interest in chemistry education. Teoksessa I. Eilks & A. Hofstein, *Teaching Chemistry—A Studybook: A Practical Guide and Textbook for Student Teachers, Teacher Trainees and Teachers* (ss. 67–95). Brill.
- Broman, K., Bernholt, S., & Christensson, C. (2022). Relevant or interesting according to upper secondary students? Affective aspects of context-based chemistry problems. *Research in Science & Technological Education*, 40(4), 478–498. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1824177>
- Broman, K., Ekborg, M., & Johnels, D. (2011). Chemistry in crisis? Perspectives on teaching and learning chemistry in Swedish upper secondary schools. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, 7(1), 43–60. <https://doi.org/10.5617/nordina.245>

- Cabassa, M., & Haas, B. L. (2020). Sizzle and Fizzle of Bath Bombs: An Inexpensive and Accessible Kinetics Experiment. *Journal of Chemical Education*, 97(6), 1629–1632. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01110>
- Cheung, D. (2005). Investigating Toothpastes through Inquiry-Based Practical Work. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 42(3), 31. <https://doi.org/10.3200/SATS.42.3.31-37>
- Childs, P. E., Hayes, S. M., & O'dwyer, A. (2015). Chemistry and Everyday Life: Relating Secondary School Chemistry to the Current and Future Lives of Students. Teoksessa I. Eilks & A. Hofstein (Toim.), *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice* (ss. 33–54). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5_3)
- Cochrane, N. J., Cai, F., Huq, N. L., Burrow, M. F., & Reynolds, E. C. (2010). New Approaches to Enhanced Remineralization of Tooth Enamel. *Journal of Dental Research*, 89(11), 1187–1197. <https://doi.org/10.1177/0022034510376046>
- Combes, C., Cazalbou, S., & Rey, C. (2016). Apatite Biominerals. *Minerals*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/min6020034>
- De Vos, W., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2014). Chemistry curricula for general education: Analysis and elements of a design. Teoksessa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust, J. H. van Driel, & D. Gabel, *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (ss. 101–124). Springer.
- Duverger, O., Beniash, E., & Morasso, M. I. (2016). Keratins as components of the enamel organic matrix. *Matrix Biology*, 52–54, 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2015.12.007>
- Eilks, I., & Hofstein, A. (2015). *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice*. Brill.
- Eilks, I., Rauch, F., Ralle, B., & Hofstein, A. (2013). How to Allocate the Chemistry Curriculum Between Science and Society. Teoksessa *Teaching Chemistry—A Studybook: A Practical Guide and Textbook for Student Teachers, Teacher Trainees and Teachers* (ss. 1–36). Brill.
- Epple, M., Enax, J., & Meyer, F. (2022). Prevention of Caries and Dental Erosion by Fluorides—A Critical Discussion Based on Physico-Chemical Data and Principles. *Dentistry Journal*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/dj10010006>

- Epple, M., Meyer, F., & Enax, J. (2019). A Critical Review of Modern Concepts for Teeth Whitening. *Dentistry Journal*, 7(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.3390/dj7030079>
- European Commission. Scientific Committee on Consumer Safety. (2022, marraskuuta 4). *Safety of Triclocarban and Triclosan as substances with potential endocrine disrupting properties in cosmetic products*.  
[https://health.ec.europa.eu/publications/safety-triclocarban-and-triclosan-substances-potential-endocrine-disrupting-properties-cosmetic\\_en](https://health.ec.europa.eu/publications/safety-triclocarban-and-triclosan-substances-potential-endocrine-disrupting-properties-cosmetic_en)
- European Food Safety Authority. (2008). Xylitol chewing gum/pastilles and reduction of the risk of tooth decay—Scientific substantiation of a health claim related to xylitol chewing gum/pastilles and reduction the risk of tooth decay pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006—Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. *EFSA Journal*, 6(11), 852. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.852>
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976.  
<https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Gilbert, J. K. (2013). Science education through contexts: Is it worth the effort? Teoksessa *Debates in Science Education*. Routledge.
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context-Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817–837. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.493185>
- Gupte, T., M. Watts, F., A. Schmidt-McCormack, J., Zaimi, I., Ruggles Gere, A., & V. Shultz, G. (2021). Students’ meaningful learning experiences from participating in organic chemistry writing-to-learn activities. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 396–414.  
<https://doi.org/10.1039/D0RP00266F>
- Halonen, J., & Aksela, M. (2018). Non-formal science education: The relevance of science camps. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 6(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.31129/LUMAT.6.2.316>
- Hara, A. T., & Turssi, C. P. (2017). Baking soda as an abrasive in toothpastes: Mechanism of action and safety and effectiveness considerations. *The Journal*

- of the American Dental Association*, 148(11, Supplement), S27–S33.  
<https://doi.org/10.1016/j.adaj.2017.09.007>
- Hiltunen, J., Ahonen, A., Hienonen, N., Kauppinen, H., Kotila, J., Lehtola, P., Leino, K., Lintuvuori, M., Nissinen, K., Puhakka, E., Sirén, M., Vainikainen, M.-P., & Vettenranta, J. (2023). PISA 2022 ensituloksia. *Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja 2023:49*.
- Hirsjärvi, S. (with Remes, P., Sajavaara, P., Sinivuori, E., & Tammi). (2009). *Tutki ja kirjoita / Sirkka Hirsjärvi, Pirkko Remes, Paula Sajavaara ; piirroksat: Eila Sinivuori*. (15., uudistettu painos.). Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hoffman, A., & Turner, K. (2015). Microbeads and Engineering Design in Chemistry: No Small Educational Investigation. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 742–746. <https://doi.org/10.1021/ed500623k>
- Hofstein, A., Kipnis, M., & Abrahams, I. (2013). *How to Learn in and from the Chemistry Laboratory* (ss. 153–182). [https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5_6)
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Honkala, S., Heikka, H., Heikkinen, A. M., & Helenius-Hietala, J. (2022). *Terve suu* (K. Sirviö, Toim.; 5.). Kustannus Oy Duodecim.
- Howell, E. L., Yang, S., Holesovsky, C. M., & Scheufele, D. A. (2021). Communicating Chemistry through Cooking and Personal Health: Everyday Applications Increase Perceived Relevance, Interest, and Self-Efficacy in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1852–1862. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00125>
- Joiner, A. (2010). Whitening toothpastes: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 38, e17–e24. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.017>
- Juotava savi (aktivoitu vihreä savi)*, 500 g. (ei pvm.). Ruohonjuuri. Noudettu 25. kesäkuuta 2024, osoitteesta <https://www.ruohonjuuri.fi/products/argital-juotava-savi-aktivoitu-vihrea-savi-500-g>
- Juuti, K., & Lavonen, J. (2012). Design-Based Research in Science Education: One Step Towards Methodology. *Nordic Studies in Science Education*, 2, 54. <https://doi.org/10.5617/nordina.424>

- Kousa, P. (2014). *Kosmetiikan kemia kontekstuaalisen oppimisen apuvälineenä* [Maisterintutkielma]. Helsingin yliopisto.
- Kärnä, P., Hakonen, R., & Kuusela, J. (2012). *Luonnontieteellinen osaaminen perusopetuksen 9. Luokalla 2011*. Opetushallitus.
- Lavonen, J., Byman, R., Uitto, A., Juuti, K., & Meisalo, V. (2008). 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), 7–36.
- Lelli, M., Putignano, A., Marchetti, M., Foltran, I., Mangani, F., Procaccini, M., Roveri, N., & Orsini, G. (2014). Remineralization and repair of enamel surface by biomimetic Zn-carbonate hydroxyapatite containing toothpaste: A comparative in vivo study. *Frontiers in Physiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00333>
- Liao, W. C., & Lien, C.-Y. (2011). Facial Toner Preparation Using Distilled Fragrant Compounds of Natural Herbal Plants. *Journal of Chemical Education*, 88(4), 470–472. <https://doi.org/10.1021/ed100475p>
- Lippert, F. (2013). An introduction to toothpaste—Its purpose, history and ingredients. *Monographs in Oral Science*, 23, 1–14. <https://doi.org/10.1159/000350456>
- Loveren, C. van. (2013). *Toothpastes*. Karger Medical and Scientific Publishers.
- Lussi, A. (2014). *Erosive Tooth Wear: From Diagnosis to Therapy*. S.Karger AG. <https://doi.org/10.1159/isbn.978-3-318-02553-8>
- Lussi, A., Hellwig, E., & Klimek, J. (2012). Fluorides – Mode of Action and Recommendations for Use. *Swiss Dental Journal*, 122(11).
- Marks, R., & Eilks, I. (2009). Promoting Scientific Literacy Using a Sociocritical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching: Concept, Examples, Experiences. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 231–245.
- Marks, R., & Eilks, I. (2010). Research-Based Development of a Lesson Plan on Shower Gels and Musk Fragrances Following a Socio-Critical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 129–141. <https://doi.org/10.1039/C005357K>
- McShane, J. B. (1991). Dental Detectives. The Trial of the Toothpastes Presents No Problems for the Tooth Sleuths. *Science and Children*, 28(4), 12–15.

- Meyer, F., Enax, J., Epple, M., Amaechi, B. T., & Simader, B. (2021). Cariogenic Biofilms: Development, Properties, and Biomimetic Preventive Agents. *Dentistry Journal*, 9(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/dj9080088>
- Mount, G. J., Hume, W. R., Ngo, H. C., & Wolff, M. S. (2016). *Preservation and Restoration of Tooth Structure*. John Wiley & Sons.
- Mundy, C. E., & Nokeri, B. K. (2024). Investigating the Effects of a Context-Based Laboratory Exercise for Meaningful Learning. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01260>
- Mälkönen, J. (2023). *Hammastahnan ja reikiintymisen kemia* [Kandidaatintutkielma]. Helsingin yliopisto.
- Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/perusopetuksen-opetussuunnitelman-perusteet>
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelmien perusteet 2019*. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/lukion-opetussuunnitelmien-perusteet>
- Osborne, J., & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: A focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23(5), 441–467. <https://doi.org/10.1080/09500690010006518>
- Pernaa, J. (2013). Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Teoksessa J. Pernaa (Toim.), *Kehittämistutkimus opetuslalla* (ss. 9–26). PS-Kustannus.
- Pernaa, J., Kämppi, V., & Aksela, M. (2022). Supporting the Relevance of Chemistry Education through Sustainable Ionic Liquids Context: A Research-Based Design Approach. *Sustainability*, 14(10), 6220. <https://doi.org/10.3390/su14106220>
- Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on Cosmetic Products, 342 OJ L (2009). <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1223/oj/eng>
- Riley, P., Moore, D., Ahmed, F., Sharif, M. O., & Worthington, H. V. (2015). Xylitol-containing products for preventing dental caries in children and adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010743.pub2>

- Robinson, C., Shore, R. C., Brookes, S. J., Strafford, S., Wood, S. R., & Kirkham, J. (2000). The Chemistry of Enamel Caries. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 11(4), 481–495. <https://doi.org/10.1177/10454411000110040601>
- Sanz, M., Serrano, J., Iniesta, M., Santa Cruz, I., & Herrera, D. (2013). Antiplaque and antigingivitis toothpastes. *Monographs in Oral Science*, 23, 27–44. <https://doi.org/10.1159/000350465>
- Sarajärvi, A., & Tuomi, J. (2017). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi: Uudistettu laitos*. Tammi.
- Scholz, K. J., Federlin, M., Hiller, K.-A., Ebensberger, H., Ferstl, G., & Buchalla, W. (2019). EDX-analysis of fluoride precipitation on human enamel. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49742-5>
- Selenius, S. (2023). *Kehittämistutkimus: Lukiokemian kiinnostavuuden tukeminen kynsilakan kontekstissa tehtävällä kokeellisuudella* [Maisterintutkielma]. Helsingin yliopisto.
- Sheldrake, R., Mujtaba, T., & Reiss, M. J. (2017). Science teaching and students' attitudes and aspirations: The importance of conveying the applications and relevance of science. *International Journal of Educational Research*, 85, 167–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.08.002>
- Shrestha, P., Zhang, Y., Chen, W.-J., & Wong, T.-Y. (2020). Triclosan: Antimicrobial mechanisms, antibiotics interactions, clinical applications, and human health. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 38(3), 245–268. <https://doi.org/10.1080/26896583.2020.1809286>
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). *The ROSE project An overview and key findings*. 31.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.802463>
- Sälzer, S., Rosema, N. A. M., Martin, E. C. J., Slot, D. E., Timmer, C. J., Dörfer, C. E., & van der Weijden, G. A. (2016). The effectiveness of dentifrices without and with sodium lauryl sulfate on plaque, gingivitis and gingival abrasion—A randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 20(3), 443–450. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1535-z>

- Taconis, R., den Brok, P., & Pilot, A. (2016). Introduction: Context-Based Learning Environments in Science. Teoksessa R. Taconis & P. den Brok, *Teachers Creating Context-Based Learning Environments in Science* (ss. 1–17). Springer.
- Tal, M., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2021). Assessing teachers' knowledge: Incorporating context-based learning in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(4), 1003–1019.  
<https://doi.org/10.1039/D0RP00359J>
- Teruel, J. de D., Alcolea, A., Hernández, A., & Ruiz, A. J. O. (2015). Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Archives of Oral Biology*, 60(5), 768–775.  
<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.01.014>
- Trantow, A. (2002). Brushing Up on Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 79(10). <https://doi.org/10.1021/ed079p1168A>
- Tutal, Ö. (2023). Does Context-Based Learning Increase Academic Achievement and Learning Retention?: A Review Based on Meta-Analysis. *Journal of Practical Studies in Education*, 4(5), 1–16. <https://doi.org/10.46809/jpse.v4i5.71>
- Tähkä, T. (2012). Asennetta kemian opiskeluun. Teoksessa K. Pirkko, H. Lea, & T. Tiina (Toim.), *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012* (ss. 159–171). Opetushallitus.
- Walan, S., Mc Ewen, B., & Gericke, N. (2016). Enhancing primary science: An exploration of teachers' own ideas of solutions to challenges in inquiry- and context-based teaching. *Education 3-13*, 44(1), 81–92.  
<https://doi.org/10.1080/03004279.2015.1092456>
- Young, A., Jonski, G., & Rölla, G. (2003). Inhibition of orally produced volatile sulfur compounds by zinc, chlorhexidine or cetylpyridinium chloride – effect of concentration. *European Journal of Oral Sciences*, 111(5), 400–404.  
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2003.00063.x>

# Liitteet

## Liite 1. Työohje

### JOHDATUSOSIO

Hammastahnan ominaisuuksiin ja ainesosiin tutustumisen rakenne:

1. Pohditaan, millaisia ominaisuuksia hammastahnalla halutaan olla.

*Esimerkiksi*

- o *Millaisia terveydellisiä ominaisuuksia?*
  - *Suojaa reikiintymiseltä, vähentää vihlontaa, ehkäisee pahanhajuista hengitystä*
- o *Millaisia käyttökokemukseen vaikuttavia ominaisuuksia?*
  - *Miellyttävä maku ja haju, hyvä suutuntuma, valkoinen tai värillinen*
- o *Millaisia säilyvyyteen liittyviä asioita?*
  - *Säilyy huoneenlämmössä, ei homehdu*

2. Muodostetaan määritettyjen ominaisuuksien perusteella ainesosaryhmiä

*Esimerkiksi*

- *Miellyttävän maun saamiseksi tarvitaan makuaineita (aromeja)*
- *Säilyvyyden parantamiseksi tarvitaan mikrobien kasvua ehkäiseviä aineita*

3. Hyödynnetään muodostettuja ainesosaryhmiä kaupallisen hammastahnan ainesosien luokittelussa. Ainesosista haetaan tietoa COSMILE Europe -ainesosatietokannasta:  
<https://cosmileeurope.eu/fi/inci/>

## KOKEELLINEN OSIO

### Ruokasoodahammastahnan valmistusohje

Ainesosat:

- Ruokasooda
- Ruokasuola
- Glyseriini (Glyseroli)
- Vesi

Työohje

1. Lisää astiaan kolme teelusikallista ruokasoodaa ja yksi teelusikan lusikankärjellinen ruokasuolaa
2. Lisää seokseen yksi teelusikallinen glyseriiniä ja sekoita. Tuloksena on paksu tahna.
3. Jos tahna on liian paksua, lisää tarvittaessa yksi pisara vettä ja sekoita. Jatka pisaroiden lisäämistä yksi kerrallaan, kunnes tahnan koostumus on mielestäsi sopiva.

Havainnoi valmistasi hammastahnan koostumusta ja vastaa kysymyksiin. Kokeile halutessasi valmistamaasi hammastahnaa. Jos et halua harjata sillä hampaitasi, voit tutkia miten tahna käyttäytyy harjaamalla sitä kämmeneesi.

### Kalsiumkarbonaattihammastahnan valmistusohje

Ainesosat:

- Kalsiumkarbonaattijauhe (tai kananmunankuori)
- Kookosöljy

Työohje

1. Lisää astiaan yksi teelusikallinen kookosöljyä
2. Sulata tarvittaessa kookosöljy lämmittämällä sitä noin 5–10 sekuntia mikroaaltouunissa ja sekoittamalla seosta lusikalla
3. Lisää seokseen kaksi teelusikallista kalsiumkarbonaattijauhetta ja sekoita.

Jos käytät hammastahnan valmistuksessa kananmunankuorta, irrota sisäpinnassa oleva kalvo, pese ja kuivaa kananmunan kuori huolellisesti ja jauha se hienoksi jauheeksi huhmareessa.

**Savihammastahnan valmistusohje**

Ainesosat:

- Syötävä savijauhe
- Kookosöljy

Työohje

1. Lisää astiaan kaksi teelusikallista kookosöljyä
2. Sulata tarvittaessa kookosöljy lämmittämällä sitä noin 5–10 sekuntia mikroaaltouunissa ja sekoittamalla seosta lusikalla
3. Lisää seokseen puolitoista teelusikallista savijauhetta ja sekoita.

Havainnoi valmistasi hammastahnan koostumusta ja vastaa kysymyksiin. Kokeile halutessasi valmistamaasi hammastahnaa. Jos et halua harjata sillä hampaitasi, voit tutkia miten tahna käyttäytyy harjaamalla sitä kämmeneesi.

**Itsetehdyn hammastahnan arviointi**

Millainen on hammastahnan koostumus? Entä väri, haju ja maku?

Onko hammastahnaa helppo levittää ja käyttää? Vaahtoako tahna harjatessa?

Millainen on hammastahnan suutuntuma? Tuntuiko hammastahna puhdistavan suuta?

Vaikuttaako hammastahna houkuttelevalta käyttää? Ostaisitko tai valmistaisitko sitä itse?

Mikä tarkoitus kullakin ainesosalla on hammastahnassa? Mitkä kaupallisen hammastahnan ainesosat puuttuvat?

Valmistettuun hammastahnaa ei lisätty fluoridia. Hammastahnoissa saa olla fluoridia enintään 1500 ppm (ppm tarkoittaa miljoonasosaa eli  $1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$ ). Laske kuinka paljon valmistamaasi hammastahnaan fluoridia saa enintään lisätä. Valmistit hammastahnaa noin 15 grammaa. Miksi työssä ei lisätty fluoridia hammastahnaan?

## Liite 2. Kyselylomake

### Tutkimuslomake: Hammastahnatutkimus

Tämä lomake on osa Helsingin yliopiston opinnäytetyötä, jossa tutkitaan yläkoululaisten kokemusta hammastahnan kontekstin merkityksellisyyttä. Vastauksia säilytetään opinnäytetyön tekemisen ajan, jonka jälkeen ne hävitetään. Lisätietoja voi pyytää sähköpostitse juuso.malkonen@helsinki.fi.

Annan luvan käyttää vastauksiani tieteellisessä tutkimuksessa

Väittäjä	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä		En osaa sanoa
Kemia on minusta kiinnostavaa							
Työ antoi minulle hyödyllistä tietoa hammastahnasta							
Hammastahna-aihe lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan							
Kokeellinen työskentely lisäsi kiinnostustani kemiaa kohtaan							
Työ auttoi minua ymmärtämään kemian merkitystä omassa arjessani							
Opin työn aikana asioita, joista on minulle hyötyä tulevaisuudessa							
Työ auttoi minua ymmärtämään sitä, miten kemia vaikuttaa yhteiskuntaan							
Vierailun ansiosta arvostan enemmän kemian alaa							
Opin työn aikana laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia taitoja							
Sain vierailulla tietoa kemiaan liittyvistä ammateista							
Vierailu lisäsi kiinnostustani työskennellä kemiaan liittyvässä ammatissa							

**KÄÄNNÄ!**

Kuvaile, mitä tulevaisuudessa hyödyllisiä asioita opit työn aikana.

Kuvaile, miten työn vaikutti ymmärrykseesi kemian merkityksestä yhteiskunnassa.

Muuta palautetta työstä ja ohjauksesta

Kiitos kyselyyn vastaamisesta!