UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

PAKOPELIT LUKION KEMIAN OPETUKSESSA

Emilia Hahl

PRO GRADU -TUTKIELMA

Orgaaninen kemia

Kemian aineenopettajan koulutusohjelma

664/2020

Educational Escape Rooms in High School Chemistry
Emilia Hahl, 185698
Itä-Suomen yliopisto, Kemian laitos
Ohjaajat: professori Janne Jänis, vanhempi yliopistonlehtori Kari Sormunen ja yliopistonlehtori Leila Alvila
Joensuu 13.6.2020

Tiivistelmä

Suomalaisten nuorten luonnontieteiden osaaminen on viime vuosikymmenen aikana heikentynyt ja erot huippuosaajien ja heikoimpien osaajien välillä ovat kasvaneet. Jotta oppilaiden kiinnostusta kemiaa ja kemian opiskelua kohtaan voitaisiin lisätä, tulisi ottaa käyttöön innostavia ja motivoivia opetusmenetelmiä, jotka mahdollistavat opitun tiedon luovan soveltamisen ja kokeellisuuden.

Pedagogiset pakopelit tarjoavat monipuolisen, oppilaslähtöisen ja pelillistetyn oppimisympäristön, jossa immersiivinen tarina ja tunnelma yhdessä aikarajan ja sopivasti haasteellisten pulmatehtävien kanssa edesauttavat oppimisen kannalta optimaalisen ja palkitsevan kokemuksen eli virtaustilan syntymistä. Pedagogiset pakopelit kannustavat oppilaita aktiiviseen, tutkivaan ja yhteistoiminnalliseen oppimiseen, jossa he tekevät havaintoja, soveltavat oppimaansa ja ratkovat ongelmia luovasti joukkueena. Yhteistyö- ja vuorovaikutustaitojen kehittämisen lisäksi pedagogiset pakopelit auttavat oppilaita tunnistamaan omia vahvuuksiaan ja kemian osaamistaan ja motivoivat heitä haastamaan itsensä. Pedagogisten pakopelien avulla voidaan hauskalla ja innostavalla tavalla konkretisoida kemian teoreettista oppimissisältöä ja asettaa se laajempaan, monialaiseen kontekstiin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on suunnitella kertaava pedagoginen pakopeli lukion orgaanisten yhdisteiden kemian opetuksen tueksi. Toteutettava pakopeli suunniteltiin käyttäen reunaehtoina pedagogisten pakopelien käytännön toteutuksen yleisimpiä haasteita: jotta kemian oppimispakopeli olisi helposti toteutettavissa, sen tulisi olla järjestettävissä vähintään 24 lukiolaiselle kahden 45 minuutin oppitunnin aikana tavallisessa kemianluokassa ja mahdollisimman vähäisillä resursseilla. Reunaehtojen täyttämiseksi kemian pedagogisen pakopelin rakenteeksi valittiin rinnakkain pelautettava lineaarinen rakenne, jossa kaikki joukkueet pelaavat samassa tilassa yhtä aikaa, mutta saavat samoista tehtävistä eri ratkaisuja. Peli ei silti ole kilpailullinen, vaan yhteistoiminnallinen: pakopelin loppupuolella etenemiseen vaaditaan kaikkien joukkueiden yhteistyötä.

Suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä ei valitettavasti voitu testata COVID-19 -pandemian vuoksi. Tämä tutkimus tarjoaa silti katsauksen pedagogisten pakopelien suunnitteluprosessiin ja tarjoaa yhden vaihtoehdon orgaanisen kemian aihekokonaisuuden ympärille suunnitellusta oppimispakopelistä. Suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin toivotaan rohkaisevan kemian opettajia kokeilemaan oppimispakopelien käyttöä ja suunnittelua kemian opetuksessa.

Abstract

Knowledge of science among Finnish students has been on the decline in the past decade. There has also been a significant increase in skill disparity among chemistry students. In order to get students excited about learning chemistry, innovative and highly motivating teaching methods should be considered to engage the students and support creative thinking and experimental learning.

Educational escape rooms are a versatile, student-led gamified learning environment that combines an immersive story and atmosphere with a time limit and challenging puzzles and tasks to promote the creation of flow, a highly rewarding state of mind that is optimal for learning. Educational escape rooms provide students with an opportunity to engage in active, experimental and collaborative learning experiences where students make observations, think creatively to apply what they have learned, and solve problems as a team. In addition to promoting the development of social skills, communication and co-operation in students, educational escape rooms help students to recognise their own strengths and skills in chemistry and motivate the students to challenge themselves further. With educational escape rooms, students can learn chemistry in a fun, engaging and practical way that helps them to connect the theoretical knowledge to larger, multidisciplinary contexts.

The aim of this study is to create an educational escape room that could be used to support the high school chemistry curriculum in teaching and reviewing concepts of organic chemistry. Some conditions were set on the design of the educational escape room to make it more viable to be used in schools: the escape room should accommodate for at least 24 students and be held within two 45 minute lessons in a regular chemistry classroom and need minimal additional resources. In order to accommodate these conditions, a linear structure with parallel games running simultaneously in the same room was proposed for the educational escape room. All teams work on similar puzzles but get different results. The game is not meant to be competitive, but collaborative instead: near the end of the educational escape room all teams need to work together to progress in the game.

Due to the COVID-19 pandemic, the proposed educational escape room design was unfortunately not able to be tested on students. This study will instead provide an in-depth look into the design process of an educational escape room focused on organic chemistry. The proposed educational escape room design can be used as an example to encourage chemistry teachers to try out educational escape rooms in their classrooms.

Sisällysluettelo

1. Johdanto ……. 7

2. Pakopelit ……...……. 9

2.1. Pakopelin määritelmä ……...……. 9

2.2. Pakopelien historia ja kehitys ……...……. 10

2.3. Pakopelien peruselementit ……. 12

2.3.1. Pelaajat …… 13

2.3.2. Teema ja juoni ……. 14

2.3.3. Rakenne ……...…… 16

2.3.4. Pulmatehtävät, vihjeet ja kohteet ……. 18

2.3.5. Tilat ja rekvisiitta …… 22

2.3.6. Vinkit ja pelinohjaajan rooli ……... 22

3. Pakopelien pedagogiikka ……. 24

3.1. Pakopelien pedagoginen viitekehys ……. 24

3.1.1. Flow eli virtaustila ……. 25

3.1.2. Pelillisyys …… 28

3.2. Pedagogiset pakopelit ja kemian opetus ……...…… 34

3.2.1. Pakopelit ja LOPS ……...…… 35

3.2.2. Kemian pedagogiset pakopelit …… 37

4. Tutkimuksen tavoitteet …… 40

5. Orgaaniset yhdisteet lukion kemiassa ……...……. 41

5.1. Orgaanisten yhdisteiden rakenne ja sen mallintaminen ……...……. 41

5.2. Orgaanisten yhdisteiden sidokset ……. 41

5.3. Isomeria ……..……. 42

5.3.1. Rakenneisomeria …… 43

5.3.2. Stereoisomeria …… 45

5.4. Funktionaaliset ryhmät ja osoitusreaktiot ……. 47

5.4.1. Alkoholit ……. 49

5.4.2. Fenolit ……. 50

5.4.3. Aldehydit …… 51

5.4.4. Karboksyylihapot …… 52

5.4.5. Amiinit …… 53

5.5. Happiyhdisteiden hapettumis- ja pelkistymisreaktiot ……... 54

5.6. IR-spektroskopia ……... 55

6. Maukas mysteeri – pakopeli orgaanisen kemian opetukseen ……..……. 57

6.1. Suunnittelun reunaehdot ……... 57

6.2. Pedagogisen pakopelin suunnittelu ……. 59

6.2.1. Pelin kohderyhmä, viitekehys ja resurssit ……. 61

6.2.2. Oppimistavoitteet ……... 62

6.2.3. Pelin teema ja juoni ……... 64

6.2.4. Pelin rakenne ja ryhmäkoko ……... 65

6.2.5. Pulmatehtävät ……. 69

6.3. Pedagogisen pakopelin valmistelut ……..…… 76

6.3.1. Tilan valmistelut ……. 76

6.3.2. Materiaalit ja rekvisiitta ……..……... 78

6.3.3. Työturvallisuus ……... 80

6.4. Pedagogisen pakopelin toteutus ……..……. 81

6.4.1. Ennen peliä ……. 81

6.4.2. Pelin aikana …… 83

6.4.3. Pelin jälkeen ……... 85

7. Johtopäätökset ……...……. 87

8. Viitteet …….....……. 90

9. Liitteet …….....……. 95

Lyhenteet

CC	CC-lisenssi, lisenssivapaa sisältö	*Creative Commons*
COVID-19	koronavirustauti	*coronavirus disease*
GBL	pelipohjainen oppiminen	*game-based learning*
IR	infrapunaspektroskopia	*infrared spectroscopy*
LOPS	lukion opetussuunnitelman perusteet	
MOK	monialaiset oppimiskokonaisuudet	
NPC	ei-pelaaja-hahmo	*non-player character*
OECD		*Organization for Economic Co-operation and Development*
PISA		*Programme for International Student Assessment*

1. Johdanto

Yksi kemian opetuksen keskeisiä tavoitteita, mutta samalla myös suurimpia haasteita on jo pitkään ollut kuinka oppilaiden kiinnostusta ja sisäistä motivaatiota kemian opiskelua kohtaan voitaisiin lisätä. Suomalaisten nuorten luonnontieteiden osaaminen on ollut 2000-luvun ajan OECD-maiden kärkitasoa, mutta PISA-tulokset ovat silti olleet luonnontieteiden osalta tasaisessa laskusuunnassa vuodesta 2006 lähtien.[1] Lisäksi oppilaiden väliset tasoerot ovat kasvaneet: Suomessa on edelleen luonnontieteen huippuosaajia enemmän kuin muissa OECD -maissa, mutta osaamisen vaihtelu on keskimääräistä suurempi. Luonnontieteiden osaamisen vaihtelu ei juuri ole muuttunut vuoteen 2015 verrattuna, mutta vuoteen 2006 verrattuna on erinomaisten osaajien määrä pienentynyt ja erittäin heikosti pärjäävien osuus puolestaan kasvanut Suomessa eniten muihin PISA:n kärkimaihin ja -alueisiin verrattuna. Eniten vaikeuksia heikoimmilla osaajilla on ollut opitun tiedon soveltamisessa tuttujen tilanteiden ulkopuolella sekä johtopäätösten tekeminen havaintojen perusteella. Tutkimuksissa on havaittu selkeä yhteys oppilaiden sisäisen motivaation ja osaamistason välillä.[2] Luonnontieteiden opiskelua varten tulisi pyrkiä kehittämään opetusmenetelmiä, joilla oppilaat saataisiin kiinnostumaan ja motivoitumaan luonnontieteiden opiskelusta. Jotta opitut asiat eivät jäisi vain teorian tasolle, olisi opetukseen pyrittävä sisällyttämään entistä enemmän myös kokeellisia ja opittua tietoa luovasti soveltavia työskentelytapoja, jotka sitovat opittuja asioita myös laajempiin, jokapäiväisen elämän konteksteihin. Pedagogiset pakopelit voisivat olla yksi mahdollinen ratkaisu kemian opetuksen kehittämiseen innostavammaksi ja motivoivammaksi. [1,2]

Pakopelit ovat tosielämän seikkailupelejä, joissa joukko ihmisiä selvittää yhdessä erilaisia tehtäviä tietyn tavoitteen saavuttamiseksi.[3] Kaupallisten pakopelien tapaan pedagogiset pakopelit yhdistävät toiminnallisuutta ja luovaa ongelmanratkaisua mahdollistaen samalla sosiaalisten ja yhteistyötaitojen kehittämisen. Ne tarjoavat motivoivan ja pelillistetyn oppimisympäristön, jossa oppilaat toimivat itseohjautuvasti ja aktiivisesti aiemmin oppimaansa tietoa käytännössä soveltaen ja jossa opettaja toimii oppimisprosessin tukijana ja jäsentäjänä. Oppilaiden taitotasoon ja oppimistavoitteisiin sopivaksi muokatut haastavat pulmatehtävät edesauttavat virtaustilan syntymistä, mikä mahdollistaa tehokkaan ja merkityksellisen oppimisen. Pedagogiset pakopelit mahdollistavat myös ilmiöpohjaisen ja monialaisen yhteistyön eri oppianeiden välillä.

Uusien innovatiivisten opetusmenetelmien tai oppimisympäristöjen kehittäminen ei kuitenkaan yksin riitä, mikäli niiden käyttöön ottaminen koulun arjessa on liian haastavaa. Opettajien kynnys kokeilla uusia opetusmenetelmiä on usein korkea esimerkiksi suunnitteluun tarvittavan ajan, tiukan opetusaikataulun, suurien ryhmäkokojen asettamien haasteiden tai tilojen ja resurssien vähäisyyden vuoksi. Vaikka pedagogiset pakopelit tarjoaisivatkin oivallisen mahdollisuuden tuoda motivoivaa ja soveltavaa kokeellista työskentelyä kemian opetukseen, ei niistä ole hyötyä, jos opettajilla ei ole aikaa tai resursseja suunnitella ja toteuttaa pakopeliä oppilailleen. Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida pedagogisten pakopelien soveltuvuutta kemian opetusmenetelmäksi, tarkastella oppimispakopelien suunnitteluprosessia, ja suunnitella reunaehtojen mukainen esimerkki kemian peda-

gogisesta pakopelistä. Tavoitteena on rohkaista opettajia kokeilemaan ja hyödyntämään pedagogisia pakopelejä kemian opetuksessa tarjoamalla konkreettisen esimerkin siitä, kuinka pedagogisen pakopelin voi suunnitella valitun kemian aihekokonaisuuden ympärille.

Tämän tutkimuksen ja suunnitellun pakopelin kohderyhmäksi valikoituivat lukiolaiset, joten suunnitellun pakopelin oppisisällöt ja oppimistavoitteet noudattavat uusia Lukion opetussuunnitelman perusteita (LOPS 2019, myöh. opetussuunnitelma).[4] Tutkimuksen ja suunnitellun pakopelin aiheeksi valikoituivat lukion kemiassa käsitellyt orgaaniset yhdisteet ja niiden kemia, erityisesti orgaanisten yhdisteiden rakenteet, sidokset, isomeria, funktionaaliset ryhmät, hapettumis-pelkistymisreaktiot sekä IR-spektroskopia. Alun perin tutkimuksessa oli tarkoitus myös testata suunniteltua pakopeliä kemian opettajaopiskelijoilla ja mahdollisesti myös lukiolaisilla kouluyhteistyökurssin kautta, mutta keväällä 2020 alkanut COVID-19 -pandemia esti tämän. Koska pakopeliä ei ollut mahdollista testata käytännössä, tutkimuksessa keskitytään arvioimaan pedagogisten pakopelien hyödyntämistä kemian opetuksessa lähdekirjallisuuden perusteella, sekä tarjoamaan esimerkki kemian pakopelin suunnitteluprosessista ja vinkkejä kemian pedagogisen pakopelin suunnitteluun ja toteuttamiseen.

Tutkimuksen aluksi tutustutaan ensin pakopeleihin, niiden historiaan, kehitykseen ja erityispiirteisiin, kuten pakopelien rakenteisiin, kerrontatapoihin ja tehtävätyyppeihin. Tämän jälkeen pakopelien pedagogista viitekehystä tarkastellaan erityisesti flow-teorian ja pelillisyyden kautta, tutustutaan oppimispakopelien tämänhetkiseen asemaan kemian opetuksessa ja arvioidaan pedagogisten pakopelien soveltuvuutta kemian opetusmenetelmäksi opetussuunnitelman tavoitteiden avulla. Tämän jälkeen tutustutaan lyhyesti tutkimuksessa suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin sisältämään orgaanisten yhdisteiden kemiaan. Seuraavaksi tarkastellaan kemian opetuksessa hyödynnettävän pedagogisen pakopelin reunaehtoja ja suunnitteluprosessia sekä yleisemmällä tasolla, että suunnitellun kemian pakopelin osalta. Lopuksi pohditaan pedagogisten pakopelien soveltuvuutta kemian opetusmenetelmäksi, punnitaan pedagogisten pakopelien järjestämiseen liittyviä etuja ja haasteita, kuinka pedagogisten pakopelien hyödyntäminen voitaisiin tehdä helpommaksi kemian opettajille ja arvioidaan suunnitellun kemian pakopelin toteuttamiskelpoisuutta.

Pedagogiset pakopelit valikoituivat tämän tutkimuksen aiheeksi oman harrastustaustani pohjalta: roolipelaaminen, pelisuunnittelu ja pelien hyödyntäminen kemian opetuksessa ovat kiinnostaneet minua pitkään paitsi peliharrastajana, mutta myös tulevana kemian opettajana. Ensikosketukseni pakopeleihin tapahtui 2000-luvun alussa japanilaisen Toshimitsu Takagin luomien *Crimson Room*- ja *Viridian Room* -nettipakopelien kautta. Ne herättivät kiinnostukseni erilaisiin seikkailu- ja mysteeripeleihin, mikä myöhemmin johti sekä viihde- että oppimispelien pelisuunnittelusta kiinnostumiseen. Olen osallistunut pakohuonemaisten elementtien suunnitteluun osana live-roolipelejä eli larppeja ja laatinut pakopelimäisiä aarrejahteja ystäväni syntymäpäivän kunniaksi, mutta en itse asiassa ole koskaan vielä käynyt ”oikeassa” kaupallisessa pakopelissä, vaikka aikomus onkin pyörinyt mielessä jo pari vuotta. Pedagogisten pakopelien hyödyntäminen kemian opetuksessa kiehtoo minua potentiaalinsa vuoksi. Toivon, että pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessin ja sen järjestämiseen liittyvien käytännön seikkojen avaaminen rohkaisisi mahdollisimman monia muita opettajia kokeilemaan pedagogisia pakopelejä osana kemian opetusta.

2. Pakopelit

2.1. Pakopelin määritelmä

Pakopelit ovat tosielämän seikkailupelejä, joissa joukko pelaajia yrittää suorittaa ennalta määrätyssä ajassa erilaisia päättelykykyä, luovaa ajattelua ja yhteistyötä vaativia pulmatehtäviä tietyn tavoitteen saavuttamiseksi. Pakopeleihin liittyy yleensä myös jonkinlainen tarina tai teema, jonka tarkoituksena on syventää pelaajissa pelin aikana tapahtuvaa immersiota eli eläytymistä. Teema voi näkyä esimerkiksi pelitilan lavastuksessa tai ratkaistavissa tehtävissä. Usein pelaajien tavoitteena on joko selvittää jonkinlainen mysteeri tai paeta pelitilasta (pakohuoneesta) tietyn ajan kuluessa johtolankoja etsimällä ja pulmatehtävät ratkaisemalla. Kaikkiin pakopeleihin ei kuitenkaan välttämättä liity konkreettista tai edes temaattista pelitilasta pakenemista. [3,5-7]

Pakopelit ovat vielä varsin uusi ilmiö sekä Suomessa että maailmalla, joten siihen liittyvä termistö ei ole vielä täysin vakiintunut: käsitteitä pakohuone, pakohuonepeli ja pakopeli käytetään etenkin arkikielessä välillä toistensa synonyymeina. Pakopeli (*escape game*) on pakohuoneiden ja pakohuonepelien yläkäsite, joka sisältää näiden lisäksi myös monia muita tosielämän seikkailupelien muotoja, esimerkiksi ulkopakopelit ja virtuaalipakopelit. Kun pakopeli järjestetään sisätiloissa suljetussa huoneessa, puhutaan yleensä pakohuoneesta (*escape room*). Pakohuoneella voidaan viitata myös itse varsinaiseen fyysiseen pelitilaan, tai johonkin tiettyyn, usein kaupallisen toimijan järjestämään peliin konseptina. Laajimmin suomen kielessä vaikuttaisi kuitenkin olevan käytössä tällä hetkellä käsite pakohuonepeli (*escape room game*). Sitä käytetään paitsi yhdessä tai useammassa huoneessa pelattavista, kaupallisten tai muiden tahojen järjestämistä pakopeleistä, mutta myös esimerkiksi pakohuoneteemaisista lauta- ja videopeleistä. [5-7]

Pakohuonepelin tai pakopelin käsite on kuitenkin siinä mielessä hieman harhaanjohtava, ettei kaikkiin pakopeleihin välttämättä sisälly pakenemista, eikä kaikkia pakopelejä järjestetä pakohuoneissa. Pakopelejä tutkineen professori Scott Nicholsonin (2015) mielestä laajempi käsite tosielämän seikkailupeli (*live-action adventure game*) kuvaisikin paremmin pakopelien tarjoamia monipuolisia elämyksiä ja kokemuksia.[3] Yleiseen käyttöön jo vakiintuneita termejä pakohuone ja pakohuonepeli ole kuitenkaan helppo korvata arkikäytössä. [3,5-7]

Akateemisessa kontekstissa on suomeksi puhuttu tähän mennessä sekä pakohuonepeleistä että pakohuoneista oppimismenetelmänä ja -ympäristönä,[8,9-11] kuin myös pedagogisista pakopeleistä.[5,11] Tässä työssä on valittu käyttöön usein käytetyn pakohuonepelin sijaan yleiskäsite pakopeli sen tarjoaman laajemman kontekstin vuoksi ja jotta olisi selvää, ettei pedagogisten pakopelien hyödyntäminen rajoitu pelkästään luokkahuoneessa järjestettäviin tai lukitusta huoneesta pakenemiseen keskittyviin peleihin.

2.2. Pakopelien historia ja kehitys

Pakopelien tarkka syntyperä ei valitettavasti ole täysin selvillä, sillä ensimmäisistä, todennäköisesti 2000-luvun alkupuolella järjestetyistä tosielämän pakopeleistä ei ole jäänyt jäljelle luotettavia todisteita.[3] Ensimmäisenä dokumentoituna tosielämän pakopelinä pidetään yleisesti japanilaisen SCRAP -kustantamon vuonna 2007 Kiotossa järjestämää *Real Escape Game* -pakohuonetta. Takao Katon suunnittelema peli koostui yhdestä huoneesta ja sisälsi pääasiassa logiikkapulmia, joiden selvittämiseen osallistuttiin 5-6 hengen joukkueena. SCRAP järjestää edelleen pakohuonepelejä ympäri Japania.[3,5,6,13] Erilaisia interaktiivisia tosielämän seikkailupelejä on dokumentoitu tämän jälkeen runsaasti ympäri maailmaa ja niiden suosio näyttää vain kasvavan. Kaupallinen pakopeliala alkoi kasvaa ensin Aasiassa nopeasti 2010-luvun alkupuolella. Eurooppaan pakopelit löysivät todennäköisesti tiensä Unkarin kautta vuonna 2011 ja levisivät vasta muutamaa vuotta myöhemmin englanninkielisiin maihin, kuten Australiaan, Kanadaan ja USA:han. [3,5-7]

Suomessa ensimmäiset kaupalliset pakopelit järjesti pakopeliyritys Inside Out Games (nykyisin Inside Out Productions) Helsingissä vuonna 2014.[6] Tämän jälkeen kaupallinen pakopeliala on kasvanut Suomessa nopeasti: keväällä 2020 Suomessa toimi yli 70 pakohuonepelejä tarjoavaa yritystä 50:llä eri paikkakunnalla ja niiden valikoimaan kuului yli 250 uniikkia pakopeliä.[7] Kaupallisten pakopelien lisäksi Suomessa on järjestetty myös ei-kaupallista pakopelitoimintaa mm. museoissa, kirjastoissa, oppilaitoksissa sekä nuorisotyön parissa. Kortesuon (2018) mukaan Suomessa eletään nyt jo pakopelien toista aaltoa:[5] siinä missä ensimmäiset pakopelit sijoittuivat lukittuihin huoneisiin ja keskittyivät lähinnä perinteiseen ongelmanratkaisuun ja erilaisiin lukkoihin, on viimeisen parin vuoden aikana painopiste siirtynyt toisen aallon pakopeleissä kohti vahvempaa immersiota, erikoisempia peliympäristöjä, näyttelijöitä sisältäviä teemallisia pakohuoneita sekä monimutkaisempia teknisiä toteutuksia. [5-7]

Pakopelien toisen aallon myötä viihdekäyttöön tarkoitettujen kaupallisten pakopelien rinnalle on alkanut ilmestymään yhä enemmän myös hyötypeleiksi suunniteltuja pakopelejä. Hyötypelien tavoitteena on viihdekäytön sijaan sivistää, kouluttaa ja välittää tietoa pelaajalle pelillisyyden kautta. Koirasen (2019) mukaan pakopelien hyödyntäminen esimerkiksi oppimisessa ja koulutuksessa rantautui Suomeen toisen aallon mukana vuonna 2016.[6] Pakopelejä on hyödynnetty Suomessa ei-kaupallisesti lähinnä formaalissa opetuksessa ja koulutuksessa, informaalissa oppimisessa, ryhmäyttämisessä ja vaikuttamisviestinnän välineenä mm. kirjastoissa, museoissa, nuoriso- ja järjestötoiminnassa, media- ja tiedekasvatuksessa sekä erilaisissa oppilaitoksissa. Pakohuonepelejä on hyödynnetty esimerkiksi museoissa historian elävöittämiseen ja kirjastoissa kirjastonkäytön perehdytyksessä, sekä ryhmäyttämisen välineenä työelämässä esimerkiksi koulutus- tai tiimipäivien merkeissä.[3,5,6,11]

Sekä kaupallisten että ei-kaupallisten pakopelien tarjonta on kasvanut ja monipuolistunut viime vuosina nopeasti. Pakopelejä järjestetään nykyään lähes missä vain: sisällä tai ulkona, pienissä huoneissa tai avoimissa julkisissa tiloissa, pysyvässä pelihuoneessa tai siirrettävässä peliteltassa, pakettiautoissa tai kallion sisään louhitussa viestikeskuksessa. Pakopelejä voi tilata nykyään jopa kotiin.

Markkinoille on alkanut ilmestyä myös erilaisia pakohuoneteemaisia pulmalautapelejä, mobiilipelejä sekä virtuaalitodellisuutta hyödyntäviä virtuaalipakopelejä. [5,6]

Pakopelit ovat saaneet vaikutteita monista erilaisista tosielämän elämyksistä, kokemuksista sekä interaktiivisen median muodoista: näitä on koottu kuvaan 1 Nicholsonia mukaillen.[3] Nicholson pitää todennäköisenä, että pakopelien konsepti alkoi kehittyä 2000-luvulla lähes samanaikaisesti ympäri maailmaa, kun useita kaupallisia pakopelialan toimijoita alkoi kehittämään pakohuonepelejä käyttäen kukin mallina ja inspiraationa erilaisia vaikutteita.[3] Yhtenä pakopelien kehityksen tärkeimmistä vaikuttimista pidetään ns. *point and click* -tyyppisiä, *escape the room* -genreen kuuluvia seikkailuvideopelejä, joissa esimerkiksi huoneeseen lukitun pelaajan täytyy etsiä tilasta vihjeitä klikkaamalla ympäristöään, ratkaisemalla pulmia ja käyttämällä löytämiään esineitä tilasta pakenemiseen. Erityisen merkityksellisinä pakopelien kehityksen kannalta pidetään vuonna 1993 julkaistua *Myst* -tietokonepeliä, sekä japanilaisen Toshimitsu Takagin vuonna 2004 luomaa pakohuoneteemaista *Crimson Room* -selainvideopeliä. [3,5-7]

Kuva 1. *Pakopelien kehityksen taustalta löytyy monenlaisia interaktiivisen median vaikutteita aina videopeleistä ja seikkailuelokuvista roolipelaamiseen ja interaktiiviseen teatteriin.*[3]

Videopelien lisäksi myös erilaiset roolipelit, kuten pöytäroolipelit ja liveroolipelit eli larpit, ovat toimineet inspiraationa pakopelikonseptin kehittymiselle. Roolipelissä pelaajat eläytyvät kuvitteelliseen hahmoon ja toimivat pelin aikana hahmonsa luonteen mukaisesti. Pelinjohtaja luo pelille taustatarinan, mutta pelaajien tekemät valinnat sekä keskinäinen vuorovaikutus vievät pelin juonta eteenpäin. Pöytäroolipeleissä pelaaminen tapahtuu pääasiassa keskustellen, kun taas larpeissa siihen sisältyy lisäksi näyttelyä ja hahmoksi pukeutumista. Pakopeleissä pelaajat saatetaan asettaa joskus myös teeman mukaisiin rooleihin, esimerkiksi murhamysteeriä ratkoviksi etsiviksi, joissa heidän tulee toimia tietyllä tavalla. Toisin kuin roolipeleissä, pakopeleissä pelaajat eivät kuitenkaan näyttele, vaan ovat näennäisestä roolista huolimatta koko ajan oma itsensä.[5,7] Suomalaiset toisen aallon pakopelit teemallisine huoneineen ja näyttelijöineen näyttäisivät hakevan vaikutteita erityisesti poh-

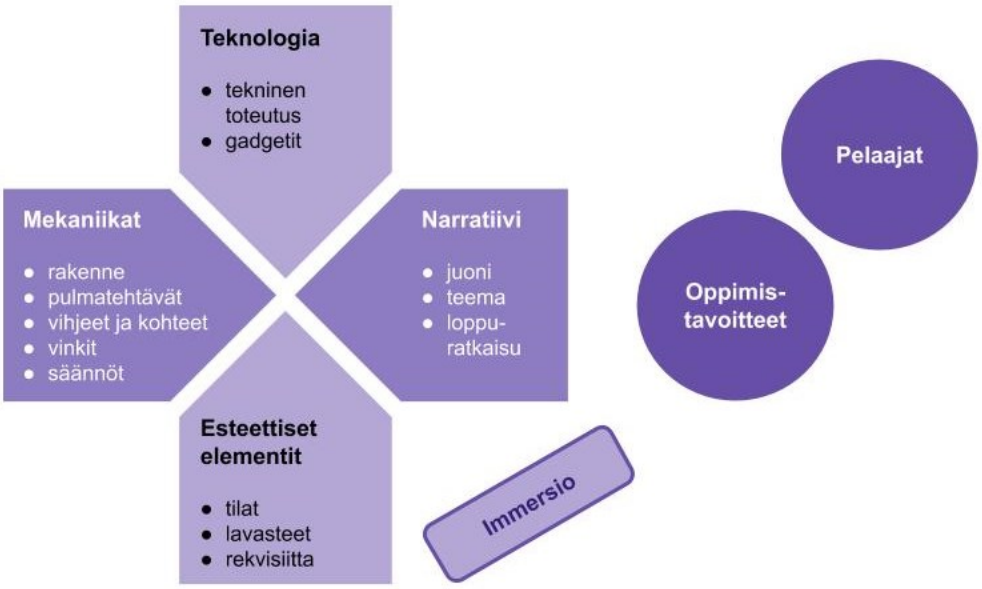
joismaalaisille larpeille tyypillisestä vahvasta immersiosta luodakseen entistäkin vaikuttavampia teemallisia elämyksiä pelaajille.[3,5-7]

Pakopelien inspiraationa ja mallina ovat toimineet myös erilaisten teemojen ympärille suunnitellut immersiiviset viihdekonseptit ja interaktiiviset elämykset, kuten mysteeri-illalliset, aarrejahdit, aikuisille suunnatut kauhutalot, kummituskävelyt ja osallistava teatteri. Koirasen mukaan etenkin osallistavalla teatterilla on ollut osansa näyttelijöitä hyödyntävien toisen aallon pakopelien kehityksessä.[6] Muita pakopelien kehitykseen vaikuttaneita ja pakopelien inspiraationa toimineita median muotoja ovat olleet erilaiset sekä lapsille että aikuisille suunnatut seikkailuteemaiset elokuvat ja tv-sarjat. Pakopelien suunnittelijoiden inspiraationa ovat toimineet monet edelleen suositut 2000-luvun alussa alkaneet reality-seikkailusarjat kuten *Selviytyjät* (2000-) ja *The Amazing Race* (2001-), lukuisat seikkailuelokuvat kuten *National Treasure – Kansallisaarre* (2004), *Da Vinci -koodi* (2006) ja erityisesti *Indiana Jones* -elokuvat arvoituksineen, sekä Suomessa mahdollisesti myös suomalainen lasten satuseikkailu *Hui Hai Hiisi* (1999-2000) pulmatehtävineen ja lavasteineen.

2.3. Pakopelien peruselementit

Pakopelejä voidaan muiden pelien tapaan analysoida monella eri tavalla. Kiilin (2012) mukaan kaikki pelit koostuvat neljästä yhtä tärkeästä peruselementistä: mekaniikoista, narratiivista, esteettisistä elementeistä ja teknologiasta.[14] Oppimispeleihin kuuluvat lisäksi oppimistavoitteet ja pelisuunnittelussa on otettava huomioon tasapaino pelillisen sisällön ja oppimistavoitteiden toteutumisen välillä. [3,5-7,14] Pelegin (2019) mukaan yksi pedagogisten pakopelien peruselementtejä on niiden pelisysteemi, jossa pulmatehtävien ratkaiseminen oikeassa järjestyksessä johtaa pelin tavoitteen saavuttamiseen.[15] Erityisesti oppimispelien tehtävien tulisi liittyä oikeaan, pelin ulkopuoliseen todellisuuteen. Pelegin mukaan pelaajat ovat myös yksi pakopelien peruselementeistä, sillä pakopelin ratkaiseminen vaatii yhteistyötä. Muita ovat mm. teeman, tarinan ja rekvisiitan kautta saavutettava immersio, pelissä ratkaistava narratiivinen konflikti, selkeät säännöt, sekä pelaajien määritettävissä oleva pelin loppupiste. Seuraavan sivun kuvaan 2 on koottu pedagogisten pakopelien peruselementtejä Kiilin ja Pelegin mukaan jaoteltuna. [3,5-7,14,15]

Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi pakopeleille tyypillisiä peruselementtejä, joita tarkastellaan myöhemmin tarkemmin pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessin näkökulmasta luvussa 6. Aiemmin mainittujen peruselementtien, kuten teeman ja tarinan, pakopelin rakenteiden, pulmatehtävien ja lukkojen, vihjeiden ja kohteiden, sekä tilojen ja rekvisiitan lisäksi tarkasteltavaksi on valittu pakopelien pelaajiin sekä pelinohjaajan rooliin ja vinkkien antamiseen liittyviä seikkoja, sillä pelin kohderyhmä ja opettajan rooli pelinohjaajana tulee huomioida osana pedagogisen pakopelin suunnittelua ja sen toteutusta.

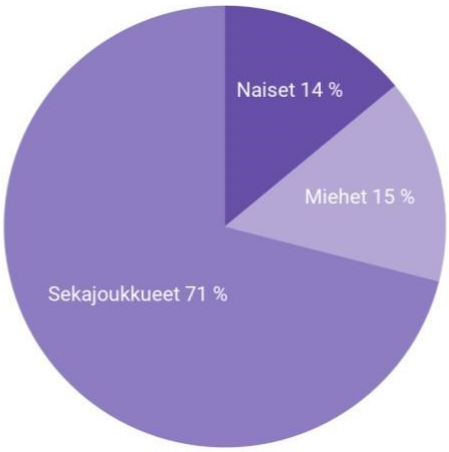


Kuva 2: *Pakopelien peruselementit voidaan jakaa pelimekaniikkoihin, narratiiviin eli kerrontaan, esteettisiin elementteihin, teknologiaan, pelaajiin sekä immersioon, joka muodostuu narratiivisten ja esteettisten elementtien kautta. Pedagogisissa pakopeleissä keskeisenä elementtinä ovat näiden lisäksi oppimistavoitteet.*

2.3.1. Pelaajat

Pakopelit vetoavat laajasti ihmisiin ympäri maailmaa pelaajien iästä ja sukupuolesta riippumatta. Kaupallisille pakopeliyrittäjille vuonna 2015 teetetyn kyselytutkimuksen mukaan pelaajien sukupuolijakauma on joukkueissa yllättävän tasainen: vain naisista koostuvia joukkueita oli 14 % ja vain miehistä koostuvia joukkueita 15 %, suurimman osan joukkueista ollessa sekajoukkueita.[3] Vaikka aikuiset ovatkin kaupallisten pakopelien suurinta kohdeyleisöä, vetoavat ne myös nuorempiin pelaajiin: tutkimuksen mukaan jopa 19 % pelaajista on alle 21-vuotiaita, 14 % lapsiperheitä. Nicholsonin mukaan kokemustasoltaan, taustatiedoiltaan ja ikä- ja sukupuolijakaumaltaan monipuolisista pelaajista koostuvat sekajoukkueet vaikuttaisivat pärjäävät pakopeleissä parhaiten, kunhan pelaajat tuntevat toisensa etukäteen. Seuraavan sivun kuvassa 3 on esitetty pakopelejä pelaavien joukkueiden sukupuolijakauma Nicholsonin tutkimuksen mukaan. [3]

Se, että pakopelit soveltuvat kaikenikäisille pelaajille sukupuoleen katsomatta tekee niistä erityisen houkuttelevia potentiaalisia opetusmenetelmiä pedagogiselta kannalta.[3] Luonnontieteiden osaamisessa on havaittu Suomessa merkittäviä eroja sukupuolten välillä: pojilla luonnontieteiden osaamisen taso vaihtelee tyttöjä enemmän, erityisesti mitä pienemmästä paikkakunnasta on kyse.[1] Pedagogisilla pakopeleillä on potentiaalia herättää oppilaiden kiinnostusta luonnontieteisiin ja tarjota erilaisille oppilaille kiinnostavia oppimiskokemuksia. Nicholsonin mukaan pelaajien sukupuoli saattaa kuitenkin vaikuttaa jonkin verran siihen, millaisia teemoja he haluavat pakopeleissä käsiteltävän, mikä kannattaa ottaa huomioon pedagogisen pakopelin teemaa ja kehystarinaa suunniteltaessa.[1,3]



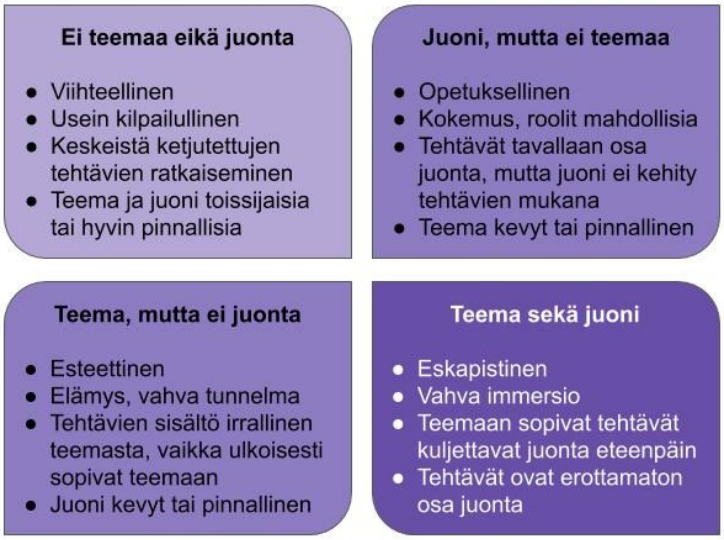
Kuva 3. *Pakopelein osallistuvien joukkueiden pelaajien sukupuolijakauma vuonna 2015 pakopeliyrittäjille teetetyn kansainvälisen kyselytutkimuksen mukaan.* [3]

2.3.2. Teema ja juoni

Pakopeleissä on yleensä jonkinlainen teema tai juoni, jonka on tarkoitus tukea pelaajille syntyvää immersion eli uppoutumisen ja peliin eläytymisen kokemusta. Teema kuvaa sitä viitekehystä, johon pakopeli ja sen taustatarina sijoittuvat, esimerkiksi tarinan miljöötä ja aikakautta. Juoni eli narratiivi puolestaan kuljettaa pelin sisältämää tarinaa eteenpäin, yleensä pakopelin tehtävien tukemana. Suosittuja teemoja pakopeleissä ovat mm. erilaiset murhamysteerit, rikostarinat, vakoojaseikkailut, vankilapaot, historialliset tapahtumat, scifi-seikkailut, yliluonnolliset arvoitukset ja kauhutarinat. Teema, teemaan sopivat visuaaliset elementit ja taustamusiikki, sekä juoni edesauttavat immersion syntymistä ja syventävät virtaustilaa, mikä on olennaista etenkin pedagogisissa pakopeleissä. [3,5,16,17]

Teema ja juoni eivät kuitenkaan ole välttämättömiä kaikissa pakopeleissä. Teemallisten ja kerronnallisten elementtien merkitys voi vaihdella pakopelin tarkoituksen, sen sisältämien tehtävätyyppien ja immersiolle tavoitellun tason perusteella. Nicholsonin mukaan kaikilla immersion tasoilla on paikkansa pakopeleissä eikä mikään tietty kerronnallinen tai teemallinen lähestymistapa ole pakopelien suunnittelussa se ainoa oikea.[3] Seuraavan sivun kuvassa 4 on jaoteltu pakopelejä neljään ryhmään niiden sisältämien teemallisten ja kerronnallisten elementtien sekä niiden tuottaman immersion perusteella.[3,5,6]

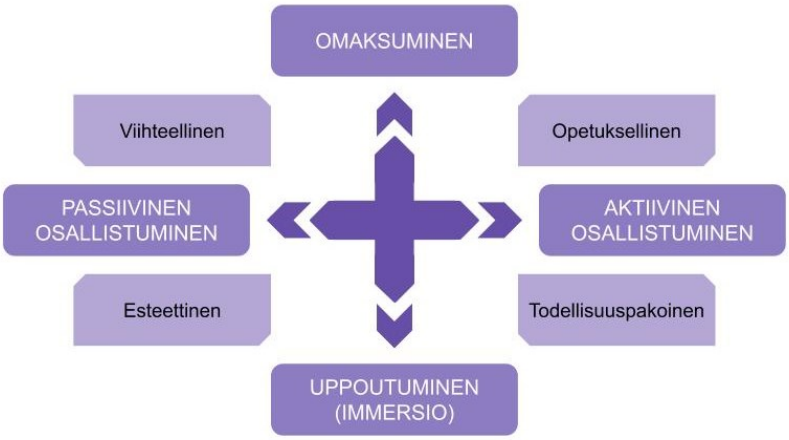
Ensimmäiset pakopelit koostuivat usein pelkistä pulmatehtävistä ja haasteista ilman teemaa tai juonta, jolloin pelaamisen painopiste oli immersiota enemmän ongelmanratkaisussa.[3] Tällaisia kaupallisia pakopelejä järjestetään edelleen ja niillä on oma pelaajakuntansa, jotka haluavat päästä testaamaan omia taitojaan: nämä pelit ovat yleensä kilpailullisempia ja niissä tavoitteena on usein ratkaista tehtävät mahdollisimman nopeasti. Pedagogisissa pakopeleissä tarinaa hyödynnetään immersion ja virtaustilan luomisessa, mutta myös pelkistä pulmatehtävistä koostuva pakopeli voi toimia tavalliseen opetukseen pelillisyyttä lisäävänä opetusmenetelmänä ja auttaa oppilaita harjoittelemaan esimerkiksi tiettyjä taitoja. Suunniteltaessa pedagogista pakopeliä ilman tarinaa tai teemaa tulee kiinnittää erityistä huomiota pulmatehtävien laatuun, kiinnostavuuteen ja haastavuuteen.[3,5,6,12]



Kuva 4. *Pakopelien sisältämät teemalliset ja kerronnalliset elementit riippuvat tavoitellusta pelikokemuksesta. Osassa pakopelejä teema ja juoni sekä niiden luoma vahva immersio ovat oleellinen osa tavoiteltua pelikokemusta, kun taas toisissa teeman, juonen tai immersion rooli voi olla vähäisempi tai jopa olematon.*

Pakopelissä voi olla selkeä teema, mutta ei varsinaista juonta. Pakopelissä on silti yleensä jonkinlainen kevyt tausta- tai kehystarina, joka selittää pelin teeman, miksi pelaajien tulisi ratkaista tehtävät tai mihin pakopelin aikaraja perustuu. Tällaisessa pakopelissä ei ole varsinaista juonta, joka etenisi pelin aikana esimerkiksi tehtävien kautta. Vaikka tehtävien sisältö ei välttämättä liity pelin teemaan, ne sopivat kuitenkin ulkoisesti pelin teemaan ja muuhun rekvisiittaan. Tällaisen pakopelin tavoitteena onkin luoda pelaajille täydellisen immersion tai pelillisen haasteen sijaan ensisijaisesti vahva tunnelma ja esteettinen elämys. Kevyt kehystarina on Koirasen mukaan yksinkertainen tapa lisätä pedagogisten pakopelien kiinnostavuutta.[3,5,6,12]

Pakopeleissä voi myös olla selkeä juoni, mutta ei vahvaa teemaa. Pakopelissä voi tällöin olla esimerkiksi jonkinlainen kehyskertomus ja kevyt teema, mutta niiden rooli ei ole keskeinen pelikokemuksen kannalta. Pelin tavoite ja pulmatehtävät voivat osittain liittyä kehyskertomukseen, mutta juoni ei etene tai kehity pelin aikana. Tällaisten pakopelien tavoitteena on pelkän ongelmanratkaisun tai esteettisen elämyksen sijaan luoda pelaajalle aktiivisen osallistumisen kokemus, jossa pelaaja saatetaan myös asettaa tiettyyn rooliin pelin ajaksi. Kortesuon mukaan monet erityisesti ensimmäisen aallon loppuvaiheen pakopeleistä olivat tällaisia ns. opetuksellisia pakopelejä, joissa pelaaja on aktiivinen toimija, mutta immersio ei ole vielä niin vahvaa, että pelaaja olisi osa tarinaa ja voisi vaikuttaa juonen etenemiseen tehtävien kautta. Pakopelien elämyksen neljä ulottuvuutta on esitetty Kortesuon mukaisesti kuvassa 5.[5] Pedagogiset pakopelit, joissa on selkeä juoni ja tarina soveltuvat erityisesti moniulotteisten, abstraktimpien sisältöjen opetusmenetelmäksi pelkistä tehtävistä koostuvien pakopelien sijaan: esimerkiksi tosielämään perustuvissa simulaatioissa tarina on olennainen osa oppimiskokemusta. Koiranen puhuukin tarinasta oppimisen välittäjänä.[3,5,6,12]



Kuva 5. *Pakopelien jaottelua neljään elämyksen ulottuvuuteen pelaajien osallistumisen aktiivisuuden sekä immersion voimakkuuden mukaan. Pedagogisissa pakopeleissä aktiivinen osallistuminen olisi erityisen toivottavaa, mutta vahvan immersion saavuttaminen voi olla haastavaa.*[5]

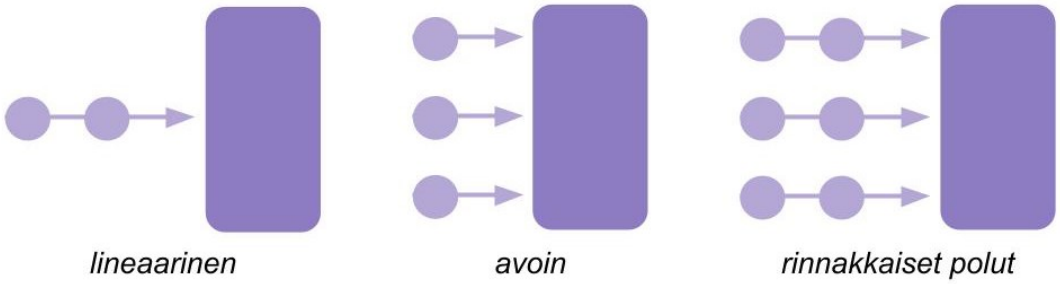
Monissa moderneissa pakopeleissä on sekä selkeä teema että juoni. Tällaisen juonellisen pakopelin pulmatehtävät on suunniteltu sopimaan pelin teemaan sekä sisällöllisesti että ulkoisesti, ja tehtävät kuljettavat juonta eteenpäin. Tavoitteena on kokonaisvaltainen ja immersiivinen pelikokemus, jossa tehtävät ovat erottamaton osa juonta ja pelaajat tuntevat olevansa osa tarinaa pelin aikana tekemiensä valintojen kautta. Erityisesti monet toisen aallon pakopelit ovat eskapistisia eli todellisuuspakoisia ja pyrkivät luomaan pelaajille vahvan immersion paitsi pelitilan lavasteiden ja rekvisiitan, mutta myös pelin sisällön kautta. Mitä immersiivisempi kokemus pakopeli on, sitä helpompi pelaajien on saavuttaa virtaustila, ja sitä tärkeämmäksi myös tarinan loppuratkaisun tyydyttävyys muodostuu. Pedagogisissa pakopeleissä virtaustilaan pääseminen olisi toivottavaa, mutta tällaisen vahvasti immersiivisen kokonaisuuden suunnittelu voi olla melko haastavaa.[3,5,6,12]

2.3.3. Rakenne

Pakopelin rakenne on runko, jonka päälle tehtäväketjut, tarinalliset elementit ja pelin eteneminen rakentuvat. Valittu pakopelin rakenne vaikuttaa myös joukkueen kokoon: suurin osa pakopeleistä on suunniteltu 2-6 hengen pienryhmille, mutta erilaiset rakenteet soveltuvat erikokoisten joukkueiden tarpeisiin. Nicholson on määrittänyt pakopeleille kolme perusrakennetta: lineaarinen, avoin ja rinnakkaisten polkujen rakenne.[3] Nämä perusrakenteet on esitetty kuvassa 6.[3,5,6,12]

Lineaarisessa eli peräkkäisessä rakenteessa pelaajat ratkaisevat vain yhtä tehtävää kerrallaan. Tehtävät muodostavat ketjun, joten uusi tehtävä on mahdollista ratkaista vasta sitten, kun edellinen on ratkaistu. Pulmatehtävien vaikeustason kasvattaminen pelin edetessä on mahdollista, kun pelaajien polku on ennalta määrätty, ja tehtävillä voidaan tukea mahdollisen juonen edistymistä. Lineaarinen rakenne erilaisine variaatioineen on yksi suosituimpia pakopelien rakenteita ja soveltuu erityisen hyvin pienissä tiloissa pienille ryhmille järjestettäviin peleihin. Pedagogisissa pakopeleissä lineaarinen rakenne on usein oppilaiden kannalta selkein toteuttaa, ja siihen on helppo yhdistää oppimis-

sisältöjen lisäksi myös tehtävien mukana etenevä juoni immersion syventämiseksi.[6] Lineaarisen rakenteen haasteena on, että pelaajat voivat jäädä jumiin ja turhautua, kun ratkaistavissa ei ole muita tehtäviä: tässä rakenteessa pelinohjaajan ja jaettujen vinkkien merkitys korostuu. [3,5,6,12]



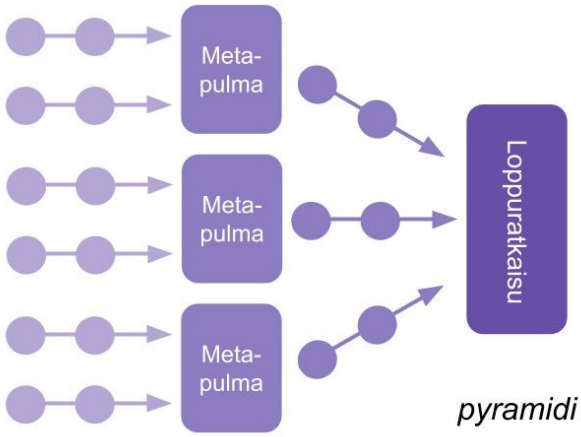
Kuva 6. *Pakopelien kolme perusrakennetta: lineaarinen, avoin ja rinnakkaisten polkujen rakenne. Pallot edustavat pulmatehtäviä ja suorakulmiot pelin viimeistä lopputehtävää tai muuta voittoehtoa.*[3]

Avoimessa rakenteessa pelaajien saatavilla on useita eri tehtäviä, jotka johtavat kaikki kohti samaa loppuratkaisua. Pelaajat voivat vapaasti valita missä järjestyksessä alkavat tehtäviä ratkaista ja joukkueen on myös mahdollista jakautua pienempiin ryhmiin ja ratkoa useita tehtäviä yhtä aikaa. Avoimessa rakenteessa tehtäviä ratkaisemalla saadaan esimerkiksi palasia, jotka täytyy yhdistää tehtävän loppuratkaisua varten. Pedagogisissa pakopeleissä avoin rakenne voidaan toteuttaa esimerkiksi rastimaisella ulkoilmapakopelillä, johon voi osallistua yhtä aikaa jopa kymmeniä oppilasryhmiä.[6,12] Avoimen rakenteen avulla voi kuitenkin olla vaikeampaa päästä virtaustilaan, jos tehtävistä ei muodostu selkeästi etenevää ketjua, joka muuttuisi haastavammaksi pelin edetessä. Tarinallisten elementtien yhdistäminen pulmatehtäviin voi olla myös haastavampaa: tehtävät jäävät helposti toisistaan irrallisiksi, kun pelaajan valintojen ja toiminnan vaikutukset eivät muodosta selkeää polkua. Avoin rakenne voi sopia kuitenkin esimerkiksi pala palalta selvitettäviin mysteereihin. Avoimen rakenteen pelien suunnittelu ja hallinnointi pelin aikana on suhteellisen helppoa. [3,5,6,12]

Rinnakkaisten polkujen rakenne yhdistää avoimen ja lineaarisen rakenteen. Pelaajilla on mahdollisuus valita useista eri tehtäväpoluista: kukin tehtäväpolku sisältää peräkkäisiä tehtäviä, jotka johtavat kohti samaa loppuratkaisua. Jokainen tehtävä on ratkaistava, jotta voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen, mutta eri tehtäviä ja tehtäväpolkuja on mahdollista ratkaista myös yhtä aikaa. Usein tehtävien haastavuus kasvaa polulla edetessä. Pedagogisissa pakopeleissä rinnakkaisten polkujen rakenteen avulla saadaan mukaan lisää pelillisyyttä, mutta toisaalta monimutkaisempi rakenne voi myös hämmentää oppilaita, kun ei olekaan niin selkeää, mitkä esineet ja vihjeet liittyvät mihinkin tehtävään. Ryhmä saattaa myös jakautua tekemään eri polkuja, jolloin on vaarana, että osa tehtävien oppisisällöistä jää osalta oppilaista väliin. Pedagogissa pakopeleissä rinnakkaisten polkujen rakenteen käyttäminen vaatii huolellista suunnittelua, jotta virtaustila ei häiriinny tai katkea. [3,5,6,12]

Nicholsonin mukaan yksikään pakohuone ei kuitenkaan käytännössä edusta täysin puhtaasti vain yhtä perusrakennetta.[3] Pakopelien rakenteista voidaan laatia myös paljon monimutkaisempia: yksi esimerkki tällaisesta hybridirakenteesta on kuvassa 7 esitetty pyramidi, jossa hyödynnetään sekä lineaarisista että avoimista rakenteista koostuvia rinnakkaisten polkujen rakenteita. Pyramidi sisäl-

tämien useiden rinnakkaisten polkujen ratkaisut muodostavat ns. metapulmia, joita ratkaisemalla avautuu jälleen uusi, loppuratkaisuun johtava rinnakkaisten polkujen rakenne. Monimutkainen rakenne tarjoaa jännittävän elämyksen pelaajille, mutta on myös vaikeampi suunnitella siten, ettei peli mene liian sekavaksi pelaajien näkökulmasta. Pedagogisissa pakopeleissä rakenne kannattaa pitää yksinkertaisena ja selkeänä virtaustilaan pääsyn tukemiseksi. Erilaisten rakenteiden yhdisteleminen mahdollistaa kuitenkin niiden parhaiden puolien hyödyntämisen pakopelissä: esimerkiksi mahdollisuus ratkaista useita tehtäviä yhtä aikaa, tehtävien vaikeustason kasvu pelin edetessä, sekä mahdollisuus sitoa pulmatehtävien ja juonen eteneminen toisiinsa immersion lisäämiseksi tekevät hybridirakenteista houkuttelevia vaihtoehtoja. [3,5,6,11,12]



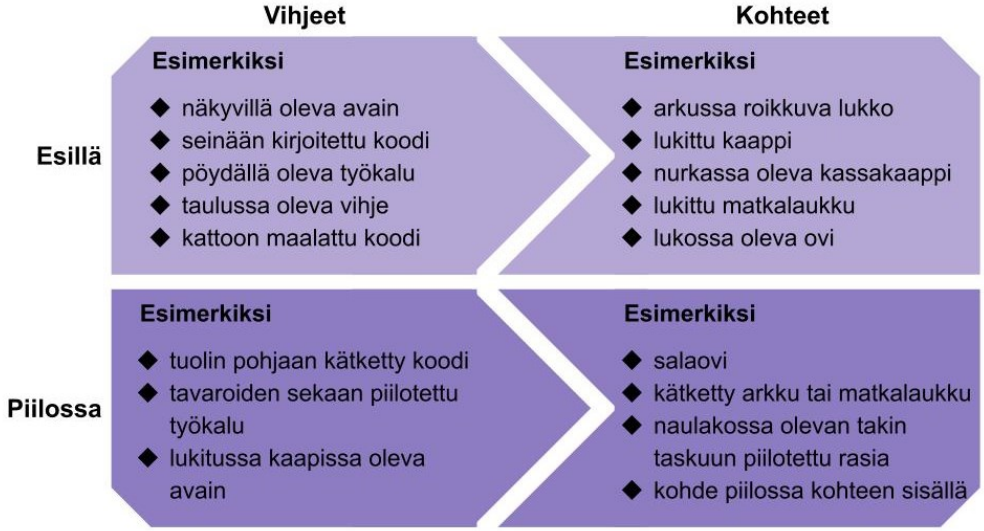
Kuva 7. *Pyramidi on yksi esimerkki monimutkaisemmasta hybridirakenteesta. Hybridirakenne sisältää usein yhden tai useampia metapulmia, jotka täytyy ratkaista ennen kuin pelin lopputehtävään päästään käsiksi.*[3]

2.3.4. Pulmatehtävät, vihjeet ja kohteet

Erilaiset pelaajien ongelmanratkaisukykyä, yhteistyötaitoja ja loogista päättelyä haastavat pulmatehtävät ovat pakopelien ydinsisältöä. Jokainen pakopelin pulmatehtävä koostuu Kortesuon mukaan kahdesta osasta: vihjeestä ja kohteesta.[5] Vihje on pelialueella joko esillä tai piilossa oleva etenemiskeino, esimerkiksi jonkinlainen koodi, avain tai työkalu. Vihjeellä on aina jokin kohde, esimerkiksi lukko tai pulmatehtävä, jonka ratkaisemiseen sitä tarvitaan: kohteita ovat esimerkiksi koodilukot, lukitut rasiat tai työkalun avulla käännettävät vivut. Kohteet estävät pelissä etenemisen, kunnes niihin sopiva vihje on löytynyt: niiden ratkaiseminen antaa pelaajille vuorostaan uuden vihjeen, jonka avulla he etenevät kohti seuraavaa kohdetta. Näistä tehtäväketjuista voidaan muodostaa erilaisia rakenteita, jotka johtavat lopulta viimeiseen tehtävään ja pelin päättymiseen.[5]

Kuvassa 8 on esitetty esimerkkejä esillä ja piilossa olevista vihjeistä ja kohteista Kortesuon mukaisesti.[5] Osa vihjeistä ja kohteista voi olla esillä jo pelin alussa, kun taas osa paljastuu pelaajille vasta pelin edetessä. Pakopelin suunnittelussa kannattaa huomioida, että käytännössä pelaajat huomaavat pelin aikana vain esillä olevat kohteet: vaikka vihje olisi täysin pelaajien nähtävissä, esimerkiksi

seinään kirjoitettuna koodina, sitä ei välttämättä huomata tai osata tunnistaa vihjeeksi. Piilotetut vihjeet, kuten esimerkiksi tavaroiden sekaan piilotettu tärkeä työkalu, ovat yleensä pelaajille vaikeita tunnistaa ja löytää pelin aikana, elleivät pelaajat tiedä niiden olemassaolosta ja osaa niitä etsiä. Piilotetut kohteet, kuten salaovet, voivat puolestaan olla erittäin hankalia havaita ja turhauttavia pelaajille. Pedagogisia pakopelejä suunniteltaessa kannattaa vihjeet ja kohteet pitää mahdollisimman yksinkertaisina ja helposti löydettävissä, jotta peli säilyy mielekkäänä eikä aikaa tuhlaudu liikaa etsimiseen.[5,6,12]



Kuva 8: *Pakopelin pulmatehtävien vihjeet ja kohteet voivat olla joko pelaajien näkyvillä tai kätkettyjä.*[5]

On huomattava myös, että pakopeleistä puhuttaessa käsite ”lukko” ei välttämättä viittaa pelkästään perinteisiin, esimerkiksi avaimella avattaviin lukkoihin. Perinteiset lukot ovat Kortesuon määritelmän mukaan kohteita, mutta lukkoa käytetään joskus myös yleisnimityksenä pakopelin kohteista puhuttaessa: esimerkiksi Koiranen puhuu kohteiden sijaan pelkistä lukoista ja tehtävistä.[5,6] Lukko voi siis olla sekä yleistermi mille tahansa kohteelle tai tehtävälle, mutta voi myös viitata esimerkiksi perinteiseen avain- tai koodilukkoon. Tässä työssä käytetään Kortesuon jaottelua yleisesti vihjeisiin ja kohteisiin, mutta sen lisäksi suunnitellun pedagogisen pakopelin sisältämät tehtävät on jaoteltu kulkukaaviossa ”tehtäviin” ja ”lukkoihin” niiden oppimissisällön perusteella: lukkoa on käytetty viittaamaan kevyempiin tehtäviin, joissa ei ole oppimistavoitteiden kannalta merkittävää oppimissisältöä, kun taas tehtävät sisältävät enemmän kemian oppisisältöä.[5,6]

Tehtävätyyppinä lukot voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään sen mukaan, millaisen vihjeen niiden ratkaisemisesta saa tai miten tehtävän ratkaisu hyväksytään. Tehtävät, joiden ratkaisemisesta saa seuraavaksi vihjeeksi jonkinlaisen koodin tai salasanan ovat yksi yleisimpiä pakopelien tehtävätyyppejä. Vastaavasti myös sellaisten kohteiden, esimerkiksi erilaisten numero-, kirjain-, suunta- ja koodilukkojen, käyttö on pakopeleissä yleistä. Tehtävät, joista saa seuraavaksi vihjeeksi pelissä etenemistä mahdollistavan esineen voivat olla yllättävän haastavia toteuttaa etenkin rinnakkaisten

polkujen rakenteissa: jos esine on oleellinen pakopelin etenemisen kannalta, tulee tehtävä tai lukko suunnitella sellaiseksi, ettei oikaiseminen ole mahdollista. Pakopelissä myös ihminen, esimerkiksi pelinohjaaja tai näyttelijä, voi toimia ”lukkona”. Pelinohjaaja voi esimerkiksi hyväksyä pelaajien suorituksen valvontatilasta käsin nappia painamalla, jolloin seuraava vihje paljastuu pelaajille ja he pääsevät etenemään pelissä. Pedagogisissa pakopeleissä ihmislukkona voi toimia esimerkiksi samassa tilassa peliä seuraava opettaja, joka palkitsee oppilaita hyväksyttävästä kokeellisesta työskentelystä tai luovasta ongelmanratkaisusta uudella vihjeellä. Ihmisen käyttäminen lukkona sopii hyvin tehtäviin, joissa ei ole vain yhtä oikeaa ratkaisua. [3,5,6]

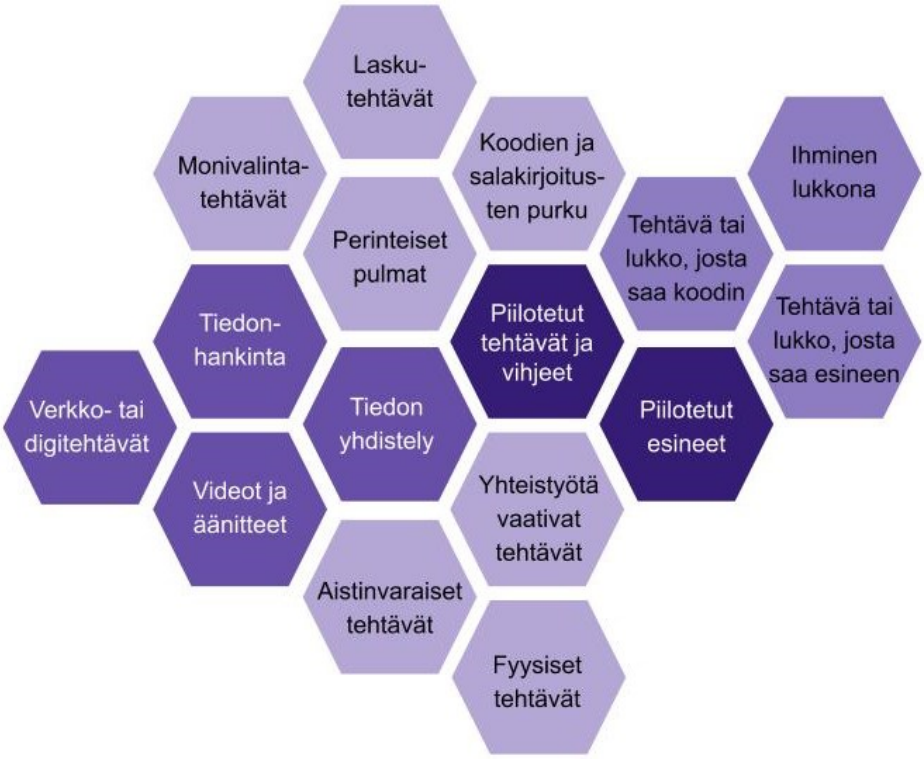
Lähes jokaiseen pakopeliin sisältyy piilotettuja esineitä, tehtäviä, kohteita tai vihjeitä. Pelitilaan piilotettuja esineitä voivat olla niin vihjeet, kohteet kuin myös erilaiset tehtävän osat tai tehtävissä tarvittavat esineet. Vihjeitä ja tehtävien osia on mahdollista piilottaa myös esineisiin tai pelitilassa olevaan rekvisiittaan: esimerkiksi seinällä oleva juliste ei olekaan vain rekvisiittaa, vaan sisältää tehtävässä tarvittavan vihjeen. Piilotettujen esineiden, kohteiden ja vihjeiden etsiminen soveltuu hyvin pelin ensimmäiseksi tehtäväksi ja kannustaa pelaajia tutkimaan pelialuetta. Etsiminen vaatii myös yllättävän paljon pelaajien välistä yhteistyötä ollakseen tehokasta.[5,6]

Pakopeleissä esiintyy edelleen jonkin verran myös ns. perinteisiä ongelmanratkaisuun ja loogiseen päättelyyn perustuvia pulmatehtäviä, kuten ristikkoja, labyrintteja tai arvoituksia. Pakopeleissä näkee usein myös laskemiseen liittyviä tehtäviä ja erilaisia koodinpurkutehtäviä: niitä voi käyttää joko itsenäisinä tehtävinä, tai esimerkiksi osana muita tehtävätyyppejä. Esimerkiksi kemian pedagogisissa pakopeleissä laskemista tai koodinpurkua voi ottaa mukaan osaksi sisällöltään enemmän kemiaan perustuvia tehtäviä. Myös monivalintatehtävät soveltuvat hyvin pedagogisiin pakopeleihin ja niitä on helppo hyödyntää esimerkiksi Google Forms -lomakkeen tai muun sähköisen työkalun avulla.[6]

Yksi pakopeleissä yleisesti esiintyvä tehtävätyyppi ovat pelaajien välistä yhteistyötä ja kommunikaatiota vaativat tehtävät, jotka mittaavat joukkueen vuorovaikutustaitoja. Pelaajat voidaan esimerkiksi asettaa pelin aluksi eri huoneisiin, joista käsin pelaajien täytyy yhdessä ratkaista tehtäviä kommunikoimalla toisiaan näkemättä. Pakopeleissä esiintyy joskus myös erilaisia aistinvaraisia tai fyysistä toimintaa vaativia tehtäviä ja haasteita. Aistinvarainen tehtävä saattaa vaatia pelaajia esimerkiksi tunnistamaan kieliä äänitteen perusteella, esineiden muotoja ja materiaaleja kosketuksen perusteella tai hoksaamaan murhamysteerissä yhteyden tekijän ja todisteiden välillä hajuaistin avulla. Fyysisissä tehtävissä pelaajat suorittavat erilaisia konkreettisia toiminnallisia tehtäviä, usein yhdessä: esimerkkinä palapelin kokoaminen seuraavan vihjeen paljastamiseksi.[6]

Pakopeleissä voidaan myös hyödyntää erilaisia tiedonhankintaan ja yhdistelyyn liittyviä, mahdollisesti monesta osasta koostuvia tehtäviä, joissa pelaajat etsivät tehtävän ratkaisemiseksi tietoa joko pelitilasta tai internetin avulla ja yhdistelevät sitä ratkaisun löytämiseksi. Pedagogissa pakopeleissä tällaisiin tehtäviin on mahdollista yhdistää esimerkiksi monialaisen tai ilmiöoppimisen teemoja. Erilaiset internetiä, sosiaalista mediaa ja multimediasisältöjä hyödyntävät tehtävät ovat paitsi mielenkiintoisia, mutta myös informatiivisia: niiden avulla pakopeliin voidaan upottaa teemaan sopivaa oppimissisältöä lähes huomaamatta. Lisäksi niitä voidaan yhdistellä muihin tehtävätyyppeihin, esimerkiksi monivalinta-, tiedonhankinta- tai aistinvaraisiin tehtäviin.[6]

Pakopeleihin voi sisällyttää monenlaisia pulmatehtäviä aina perinteisemmistä loogista päättelykykyä vaativista pulmatehtävistä monimutkaisempiin tiedonyhdistely- ja koodinpurkutehtäviin, sekä erilaisista aistien avulla suoritettavista fyysisistä haasteista hyvää paineensietokykyä ja tehokkaita kommunikaatio- ja yhteistyötaitoja vaativiin ”pomminpurkutehtäviin”. Pakopeleissä yleisesti esiintyviä tehtävätyyppejä on koottu kuvaan 9 Koirasta mukaillen.[6] Pakopelin pulmatehtävien tulisi olla tehtävätyypistään riippumatta ennen kaikkea palkitsevia. Pelaajien tulisi kokea pelin aikana sekä oivalluksen kokemuksia ratkaistessaan vaikean pulman, että innostuneen yllättäviä hetkiä kokiessaan jotain uutta ja positiivista. Pakopelin ensimmäisten tehtävien tulisi aina olla helppoja, jotta pelaajat saisivat nopeasti onnistumisen kokemuksia ja pääsisivät helpommin virtaustilaan. Pedagogisissa pakopeleissä tämä on erityisen tärkeää, jotta oppimisprosessin kannalta tärkeään virtaustilaan päästään mahdollisimman nopeasti. Tehtävien tulee olla riittävän haastavia, mutta pelaajan ratkaistavissa, jotta toiminta on motivoivaa ja antaa onnistumisen kokemuksia. Tehtävät, vihjeet ja kohteet voivat muuttua haastavimmaksi pelin edetessä, mutta pelin vaikeus ei saisi syntyä pelaajien tahallisesta hämäämisestä eikä pakopelin ratkaisemiseen pitäisi riippua tuurista tai pakopelin ulkopuolisesta tiedosta. Toisin kuin kaupallisissa pakopeleissä, pedagogisissa pakopeleissä tavoitteena on, että kaikki joukkueet pääsevät pelin läpi, joten hämäyksiä tai lähes mahdottomia, esimerkiksi täysin sattumaan tai vaikeasti saavutettaviin erityistaitoihin perustuvia tehtäviä tulisi välttää.[5,6,12]



***Kuva 9**. Pakopelit sisältävät usein monipuolisen valikoiman erilaisia taitoja vaativia pulmatehtäviä. Lisäksi yksittäinen pulmatehtävä voi koostua yhdestä tai useammasta eri tehtävätyypistä.*

2.3.5. Tilat ja rekvisiitta

Pakopelin miljööllä eli peliympäristöllä on yhdessä teeman ja tarinan kanssa suuri vaikutus immersion syntymiselle. Erilaisten lavasteiden ja teemaan sopivan rekvisiitan avulla fyysinen pelitila voidaan muuntaa täysin erilaiseksi ja sisustaa halutulla tavalla. Valaistuksen ja äänimaailman avulla voidaan luoda tunnelmaa ja tarvittaessa välittää jopa tehtäviin liittyviä vihjeitä. Erilaisten teknisten vimpaimien (*gadget*) käyttö on yleistynyt toisen aallon kaupallisissa pakopeleissä. Niillä haetaan paitsi syvempää immersiota, mutta myös yllätyksellisyyttä: esimerkiksi salaovi aukeaa kuin itsestään, kun oikea esine asetetaan painetunnistimen päälle. [3,5,6,12,16,17]

Pedagogisilla pakopeleillä ei ole yleensä käytössään samoja resursseja kuin kaupallisilla pakopeleillä, mutta onneksi jo muutamalla tarkkaan valitulla teemaan sopivalla esineellä voi päästä pitkälle. Myös valaistuksen hämärtäminen, värillisten koristevalojen tai sopivan taustamusiikin käyttö ovat hyvin edullisia tapoja auttaa oppilaita pääsemään sisään tunnelmaan. Immersio edesauttaa puolestaan virtaustilaan pääsemistä, motivoi oppilaita ja tehostaa oppimisprosessia jättämällä pysyvämpiä muistijälkiä. Yllätyksellisyyttä voi tuoda helposti mukaan myös pedagogisiin pakopeleihin antamalla tutuille esineille uusia merkityksiä ja käyttötarkoituksia: esimerkiksi kirjaan on tehty salalokero, kynä onkin UV-valokynä, joka paljastaa salakirjoituksen, ohuen pahvilaatikon sisällä onkin magneettilabyrintti. Yksinkertaisia teknisiä vimpaimia voi toki kokeilla suunnitella myös itse esimerkiksi minitietokoneiden (esimerkiksi Raspberry Pi tai Arduino) avulla. [3,5,6,12,17]

2.3.6. Vinkit ja pelinohjaajan rooli

Kortesuo käyttää teoksessaan *Pakohuone – suunnittele, toteuta, pakene* kahta hyvin samankaltaista termiä: vihjettä ja vinkkiä.[5] Vihje on pelialueella joko esillä tai piilossa oleva etenemiskeino, esimerkiksi jonkinlainen koodi tai avain. Vihjeellä on aina kohde, esimerkiksi pulmatehtävä tai lukko, jonka ratkaisemiseen sitä tarvitaan. Vinkki on puolestaan ylimääräinen ohjeistus, jonka pelaajat voivat pyytää pelinohjaajalta jäätyään esimerkiksi jumiin tiettyyn tehtävään. Vinkki voidaan antaa esimerkiksi lapulla, lähettää viestinä, kuuluttaa radiopuhelimen kautta tai näyttää monitorilta. Jos pelinohjaaja on samassa pelitilassa pelaajien kanssa, vinkin voi saada myös suullisesti suoraan pelinohjaajalta. Suurimmassa osassa pakopelejä pelaajien on mahdollista saada vinkkejä pelin aikana. Joissain pakopeleissä vinkkejä saa vain rajallisen määrän tai niiden pyytämisestä rangaistaan, kun taas osassa pelaajien ei tarvitse pyytää vinkkejä itse vaan pelinohjaajat antavat niitä pelaajille automaattisesti. Osa kaupallisten pakopelien pelaajista voi myös olla niin kilpailuhenkisiä, että he eivät välttämättä halua pyytää vinkkejä ollenkaan, vaan ovat valmiita riskeeraamaan pakopelin läpäisemisen aikarajan puitteissa täydellisen suorituksen saavuttamiseksi. Pedagogisissa pakopeleissä on kuitenkin erityisen tärkeää, että pelaajat käyvät läpi kaikki tehtävät oppisisältöineen, joten vinkkejä kannattaa antaa vapaasti niin monta kuin joukkueet tarvitsevat pelin läpäisemiseksi eikä niistä pidä rangaista.[5,6,12]

Nicholsonin mukaan hyvältä pelinohjaajalta vaaditaan vinkkien antamiseen samanlaista pelisilmää, kuin hyvältä opettajalta: on tiedettävä milloin pelaajat tarvitsevat apua, ja milloin heidän täytyy saada yrittää itse. [3] Pelaajien pitää malttaa antaa yrittää ratkaista ongelmia itse tutkimalla ja kokeilemalla, ja puuttua peliin vasta silloin, kun pelaajien turhautuminen on nousemassa liian suureksi eikä peli enää etene. Vinkkien antamisen tapa on myös tärkeää: suoran vastauksen antamisen sijaan vinkkien tarkoituksena on auttaa pelaajia keksimään itse, mitä tehtävässä tulee tehdä tai mistä puuttuva työkalu löytyy. Pelinohjaajia suositellaan esittämään vinkit kysymysmuodossa.[3,5,6,12] Pedagogisten pakopelien yksi keskeisimpiä eroja kaupallisiin pakopeleihin verrattuna on suhtautuminen vinkkien pyytämiseen ja jakamiseen: pedagogisissa pakopeleissä vinkkejä saa niin paljon kuin niitä vain pyytää, eikä niistä pitäisi rangaista. Tämä paljastaa jotain olennaista kaupallisten ja pedagogisten pakopelien syvällisemmistä toimintaeroista: kaupalliset pakopelit toimivat tietyssä määrin pelaajia vastaan, jotta pelissä olisi tarpeeksi haastetta eikä kaikkien joukkueiden ole tarkoituskaan päästä peliä läpi. Sen sijaan pedagogiset pakopelit toimivat yhteistyössä pelaajien kanssa ja tarkoituksena on tukea ja auttaa pelaajia läpäisemään peli. [3,5,6]

Vinkkien antamisen lisäksi pelinohjaaja seuraa pelaajien edistymistä pakopelin aikana ja pitää huolen siitä, että kaikki toimii ja sujuu suunnitelmien mukaan. Kaupallisissa pakopeleissä pelinohjaaja on usein pakohuoneen ulkopuolella erillisessä valvontatilassa, ja pelaajat saavat toimia pelitilassa täysin itsenäisesti. Pelin etenemistä seurataan yleensä valvontakameroiden avulla, jotta pelinohjaaja voi puuttua ongelmatilanteisiin ja sopimattomaan toimintaan pelin aikana. Pelinohjaaja voi kommunikoida pelaajien kanssa esimerkiksi radiopuhelimen tai mobiililaitteen kautta. Pedagogisissa pakopeleissä tällaisia hienoja valvontajärjestelmiä ei välttämättä ole saatavilla, mutta oppilaiden työskentelyä voi olla mahdollista seurata luokan ulkopuolelta esimerkiksi web-kameran tai verhoilla peitetyn lasioven takaa kurkistamalla. Luokkaan voi myös luoda väliaikaisen erillisen valvontatilan esimerkiksi väliverhojen tai sermien avulla. [3,5,6,12]

Kaupallisissa pakopeleissä pelinohjaajien lisäksi pelin henkilökuntaan saattaa joskus kuulua myös näyttelijöitä, jotka ovat pelaajien kanssa samassa tilassa. Näiltä ns. ei-pelaaja-hahmoilta (*non-player character, NPC*) voi esimerkiksi olla mahdollista saada pelin taustatarinaan tai juoneen liittyvää tietoa, tehtäviä, vihjeitä tai vinkkejä, tai hahmo voi itsessään toimia lukkona. Pedagogisissa pakopeleissä esimerkiksi pelinohjaajana toimiva opettaja voi erillisen valvontatilan sijaan soluttautua pelitilaan ei-pelaajahahmon roolissa, mikä mahdollistaa tarkemman oppilaiden valvomisen ja nopeamman ongelmatilanteisiin puuttumisen. NPC-rooliin eläytyminen vaatii kuitenkin opettajalta hieman heittäytymistä. Toisaalta opettajan läsnäolo edes NPC-roolissa saattaa myös vaikuttaa oppilaiden itsenäiseen työskentelyyn pakopelin aikana. [3,5,6]

3. Pakopelien pedagogiikka

3.1. Pakopelien pedagoginen viitekehys

Pedagogiset pakopelit tarjoavat monipuolisen, innostavan ja pelillistetyn oppimisympäristön, jossa selkeästi etenevä immersiivinen oppimiskokemus kannustaa oppilaita aktiiviseen, havainnoivaan ja tutkivaan oppimiseen, ja rajallinen aika motivoi toimimaan yhdessä yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi.[18] Fotariksen (2019) mukaan pedagogiset pakopelit voidaankin määritellä pelillisiä elementtejä ja yhteistoiminnallisuutta yhdistäväksi oppimismenetelmäksi, jossa oppilaat aktiivisesti hankkivat ja soveltavat tietoa sekä kehittävät taitojaan oppimistavoitteita tukevien pulmatehtävien ratkaisemiseksi ja pelille määritellyn tavoitteen saavuttamiseksi rajoitetussa ajassa.[19] Koiranen puolestaan kuvaa pedagogista pakopeliä intensiiviseksi ja immersiiviseksi kokemukseksi, jossa pyritään kohti oppimisen kannalta optimaalista ja palkitsevaa virtaustilaa.[6] Pakopelin tarina ja tunnelma auttavat oppilaita uppoutumaan pelimaailmaan ja pulmatehtävät motivoivat oppilaita haastamaan itsensä ja taitonsa. [6,18,19]

Viime aikoina tapahtunut muutos opettajakeskeisestä opetuksesta oppilaslähtöiseen oppimiseen sopii hyvin yhteen pedagogisten pakopelien kanssa: ne korostavat oppilaan oman aktiivisuuden ja itsenäisen työskentelyn merkitystä ja oppilaan roolia tiedon rakentajana, soveltajana ja merkitysten löytäjänä.[19] Opettaja toimii pedagogisissa pakopeleissä oppilaan itsenäisen, aktiivisen oppimisen mahdollistajana, ohjaajana ja jäsentäjänä: oppimistavoitteiden mukaan laadittujen pulmatehtävien avulla oppilaat soveltavat aiemmin opittua tietoa, tekevät havaintoja ja etsivät ratkaisuja ongelmiin luovalla ja tutkivalla tavalla. Opettaja tukee oppilaan itsenäistä oppimisprosessia pelin aikana ja sen jälkeen ja auttaa tätä jäsentämään oppimaansa. Pakopelin avulla voidaan oppilaille tuottaa motivoivia ja itseluottamusta kohottavia onnistumisen kokemuksia.[6] Pedagogiset pakopelit auttavat oppilaita tunnistamaan omia vahvuuksiaan, arvioimaan omaa osaamistaan ja asettamaan tavoitteita oppimiselleen. Ne kehittävät myös sisukkuutta ja kannustavat oppilaita haastamaan itsensä ja testaamaan omia tietojaan ja taitojaan käytännössä mahdollisia epäonnistumisia pelkäämättä. [6,19,20]

Pedagogisten pakopelien kautta on mahdollista saavuttaa perinteisiä opetusmenetelmiä merkityksellisempiä ja vaikuttavampia oppimiskokemuksia: pakopelin aikana oppilaat pääsevät tarkastelemaan erilaisia ilmiöitä ja haasteita monista eri näkökulmista yhdessä muiden oppilaiden kanssa keskustellen, mikä tukee merkityksellistä oppimista.[19] Pedagogisten pakopelien kautta on mahdollista löytää merkityksiä ja yhteyksiä laajempiin konteksteihin, todellisen elämän ilmiöihin sekä taitoihin, joita perinteisemmässä opetuksessa oppilaat eivät välttämättä olisi huomanneet.[6] Pedagogisia pakopelejä voidaankin hyödyntää esimerkiksi ilmiöoppimisen välineenä tai tosielämän tilanteita jäljittelevänä simulaationa, jossa pakopeli tarjoaa oppilaille turvallisen tilan tutustua ilmiön eri puoliin ja harjoitella tarvittavia taitoja pelillisyyden kautta.[6,19]

Nicholsonin mukaan pakopeleissä tarvitaan kriittisen ajattelun, havainnointikyvyn ja luovan ajattelun lisäksi myös yhteistyön, kommunikoinnin ja delegoinnin taitoja.[3] Pedagogiset pakopelit kehittävät oppilaiden sosiaalisia taitoja, esimerkiksi yhteistyö- ja ryhmätyötaitoja ja palkitsevat yhteistoiminnallisuudesta, rohkeasta päätöksenteosta ja tehokkaasta vuorovaikutuksesta muiden oppilaiden kanssa.[19] Kun oppiminen on hauskaa ja motivoivaa, houkuttelee se kaikkia oppilaita osallistumaan yhteiseen toimintaan ja parantaa ryhmähenkeä. [3,19]

Pakopelien pedagogiseen viitekehykseen kuuluu monia elementtejä, jotka tekevät niistä houkuttelevan potentiaalisen opetusmenetelmän. Kemian opetuksen kehittämisen kannalta tärkeää olisi löytää opetusmenetelmiä, joilla saataisiin lisättyä oppilaiden kiinnostusta kemiaa ja kemian opiskelua kohtaan, joten tässä työssä tarkastellaan pakopelien pedagogista viitekehystä erityisesti pelillisyyden ja virtaustilan kautta. Muita kemian opetuksen ja pakopelien pedagogisen viitekehyksen kannalta keskeisiä ilmiöitä ovat mm. oppilaslähtöisyys ja aktiivinen oppiminen, vuorovaikutus- ja yhteistyötaidot, sekä toiminnallinen oppiminen, joita tarkastellaan hieman osana pelillisyyttä ja oppimispelejä. Kuvaan 10 on koottu pakopelien pedagogisen viitekehyksen keskeisiä elementtejä, jotka vaikuttavat erityisen houkuttelevilta myös kemian opetuksen kehittämisen näkökulmasta.

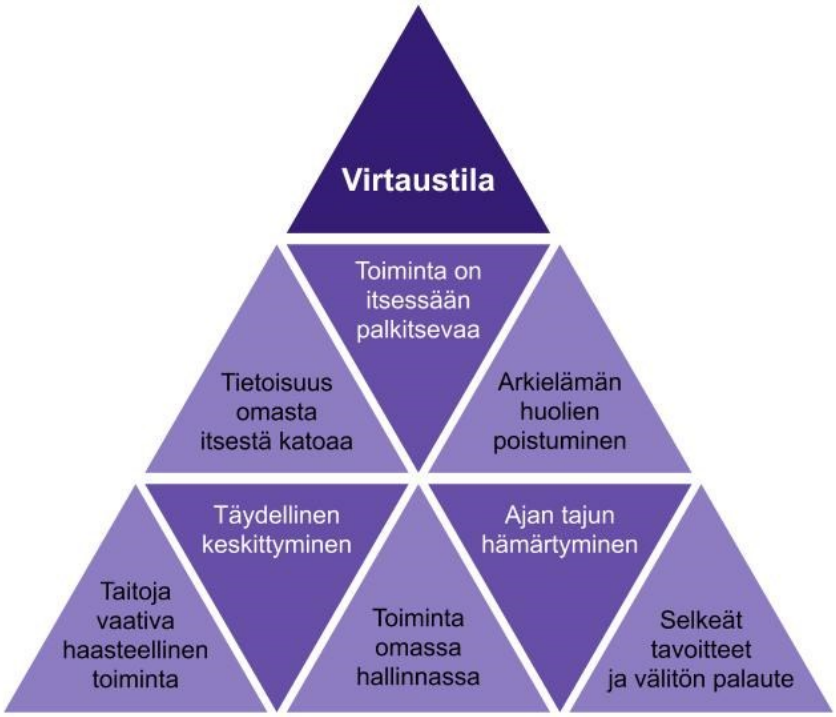
Kuva 10: *Pakopelien pedagogisen viitekehyksen keskeisiin elementteihin kuuluvat mm. toiminnallisuus, vuorovaikutus, pelillisyys ja oppilaslähtöisyys, sekä virtaustila. Pedagogisten pakopelien avulla on mahdollista tukea hyvin monipuolisesti oppilaan oppimisprosesseja ja oppimisen kehitystä.*

3.1.1. Flow eli virtaustila

Monet pakopeleistä on suunniteltu noudattaen unkarilaisen psykologin Mihaly Csikszentmihalyin vuonna 1975 kehittämää flow-teoriaa.[6] Teoria kuvaa optimaalisen keskittymisen tilaa (*flow*), jota kutsutaan myös virtaustilaksi.[21] Kun ihminen on keskittynyt johonkin asiaan niin keskittyneesti, että ulkopuolinen maailma, ajan tunne ja kaikki muut ajatukset sulkeutuvat tämän tietoisuudesta, on

tämä saavuttanut virtaustilan. Virtaustilassa ihmisen kyvyt ja tavoitteet ovat tasapainossa kohdattujen haasteiden kanssa ja kaikki tuntuu sujuvan, mikä tuottaa puolestaan mielihyvää. [6,21]

Csikszentmihalyi on määritellyt virtaustilalle kahdeksan keskeistä osatekijää, jotka vaikuttaisivat olevan universaaleja kaikille ihmisille iästä, sukupuolesta, yhteiskunnallisesta asemasta tai ympäröivästä kulttuurista riippumatta.[21] Virtaustilalle on tyypillistä haasteellinen, mutta ihmisen omia taitoja vastaava toiminta, jonka tämä kokee olevan omassa hallinnassaan. Toiminta on haastavuudestaan huolimatta myös itsessään palkitsevaa. Selkeät tavoitteet ja välitön palaute auttavat keskittymään toimintaan. Ihmisen keskittyessä täysin toimintaan tietoisuus omasta itsestä katoaa, ajantaju hämärtyy ja arkielämän huolet poistuvat mielestä. Näiden kahdeksan osatekijän yhdistyminen virtaustilaksi on erittäin palkitsevaa ja sisäisesti motivoivaa, ja tuottaa Csikszentmihalyin mukaan suurta iloa.[6,14,21] Virtaustilan osatekijöitä on esitelty kuvassa 11. Koirasen mukaan pakopelit sopivat hyvin Csikszentmihalyin määritelmään virtaustilaan johtavasta toiminnasta:[6] pakopelit ovat arkielämästä selkeästi eroavaa toimintaa, jossa on omat sääntönsä ja tavoitteensa, niiden pulmatehtävät haastavat pelaajan testaamaan taitojaan ja tekemään peliin vaikuttavia valintoja, ne tarjoavat välitöntä palautetta pelaajalle tämän toiminnasta, ja niiden aikana pelaaja keskittyy peliin usein jopa siinä määrin, että ajantaju ja arkiset huolet katoavat.[6,14,21]

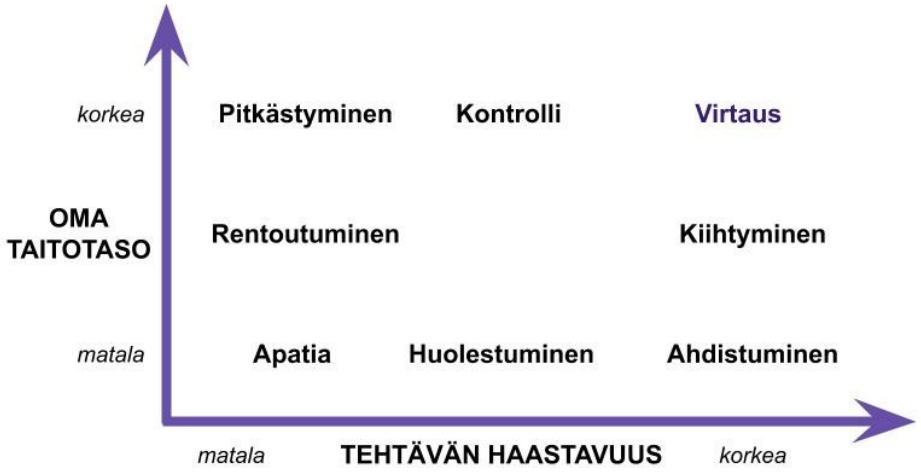


Kuva 11: *Csikszentmihalyi on määritellyt virtaustilan saavuttamiselle kahdeksan keskeistä osatekijää.*[6,21]

Erityisen hyödyllinen virtaustila on tarkasteltaessa pelipohjaisia oppimisympäristöjä.[14] Pelillistä oppimista voidaan hyödyntää virtaustilaan pääsemiseksi, ja virtaustila puolestaan mahdollistaa tehokkaan oppimisen: tämä synergia tekee esimerkiksi pedagogisista pakopeleistä erityisen houkuttelevan opetusmenetelmän.[6,22,23] Virtaustila onkin keskeinen osa oppimispelien suunnittelua: virtaustilan elementtejä hyödyntämällä voidaan sekä formaalien, että informaalien oppimiskokemuksien

vaikutusta tehostaa ja kiinnostavuutta lisätä. Selkeät säännöt ja tavoitteet, tehtävien haasteellisuuden ja pelaajien taitojen välinen tasapaino sekä välitön palaute edesauttavat myös virtaustilaan pääsyä.[15] Virtaustilan ylläpitämisen kannalta keskeistä on tasapainottaa oppimispelin haasteet oppilaiden taitoihin sopivaksi: virtaustilassa pysymistä voidaan edistää esimerkiksi yhteistoiminnallisuuden tai opettajan ohjauksen kautta.[6,14,15,22,23]

Pakopelin aikana koettu virtauskokemus pohjautuu pelissä kohdattuihin haasteisiin ja niiden vaikeustasoon: mikäli pelaajan kohtaama haaste on tasapainossa tämän taitojen, tavoitteiden ja sisäisen motivaation kanssa, on virtauskokemus mahdollinen. Tätä ihmisen oman taitotason ja tehtävän haastavuuden välistä suhdetta ja sen aiheuttamia tunnetiloja voidaan kuvata 8-kanavaisen motivaatiokanavan jaottelulla, joka on esitetty kuvassa 12.[24] Virtaustilaan päästään, kun tehtävä on hyvin haastava, mutta vastaa silti ihmisen omaa korkeaa taitotasoa. Mikäli tehtävä on haastava, mutta ei vastaa omaa taitotasoa, se voi aiheuttaa ihmisessä ahdistumista, kiihtymistä tai huolestumista ja virtaustila voi rikkoutua. Vastaavasti mikäli tehtävä on helppo omaan taitotasoon nähden, ihminen saattaa aluksi rentoutua tai tuntea olevansa kontrollissa, mutta mikäli tehtävä on aivan liian helppo, ihminen pitkästyy sen sijaan. Mikäli tehtävä ei taas ole tarpeeksi haastava, mutta oma taitotaso ei myöskään ole kovin korkea, on seurauksena apatia. Pedagogisessa pakopelissä tavoitteena on pitää pulmatehtävien haastavuus tasapainossa oppilaiden taitotason kanssa, jotta oppimisprosessin kannalta optimaalinen virtaustila voidaan saavuttaa ja ylläpitää. Esimerkiksi oppimispakopelin vaikeustasoa voi yrittää arvioida tarkkailemalla oppilaiden tunnetiloja pakopelin aikana, jotta saadaan selville, onko tehtävien haastavuus ja oppilaiden taitotaso tasapainossa.[10] Kortesuon mukaan yksi pelinohjaajan tehtävistä onkin tarkkailla pelaajien tunnetilaa ja mahdollistaa virtaustilassa pysyminen oikein ajoitettuja vinkkejä antamalla. Välitön palaute auttaa oppilasta keskittymään, reflektoimaan toimintaansa ja keskittämään huomionsa oppimistavoitteiden kannalta keskeiseen sisältöön.[5,10,14,21,22,24]



Kuva 12: *Csikszentmihalyin alkuperäisen 4-kanavaisen virtaustilan mallin tilalle on ehdotettu mm. 8-kanavaista mallia, joka kuvaa alkuperäistä mallia tarkemmin ihmisen oman taitotason ja koetun haasteen suhteen aiheuttamia tunnetiloja ja niiden vaikutusta motivaatioon.*[24]

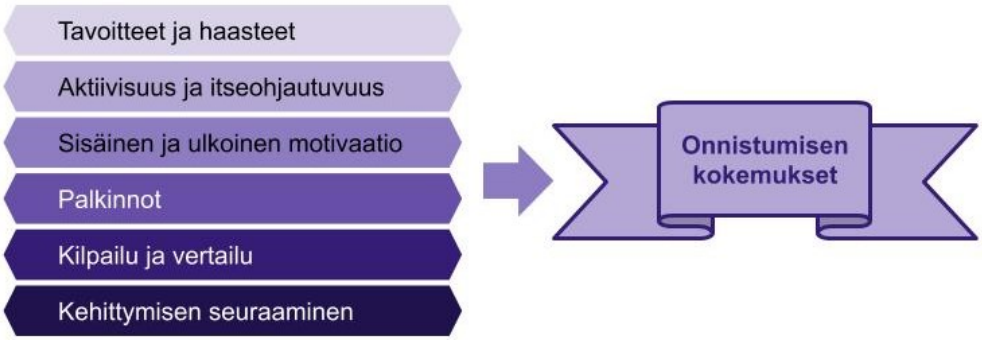
Flow-teoriaa hyödynnetään paljon sekä pelisuunnittelussa, että oppimisen tutkimuksessa. Optimaalisen keskittymisen tilan kokeminen auttaa oppilasta keskittymään käsillä olevaan tehtävään, mikä tehostaa oppimisprosessia. Pelisuunnittelussa puhutaan usein myös immersiosta eli uppoutumisesta peliin ja sen maailmaan: immersiivistä peliä pelatessaan pelaaja uppoutuu pelin elämykseen ja keskittyy pelaamiseen siinä määrin, että ajantaju ja pelin ulkopuolinen maailma unohtuvat ja pelaaja kokee olevansa osa peliä ja sen maailmaa. Vaikka immersio muistuttaa paljon virtaustilaa, immersiossa keskeisempää on pelaajan toiminnan sijaan pelaajan subjektiivinen kokemus: virtaustilassa pelaajan kaikki huomio keskittyy tiettyyn toimintaan, kun taas immersio kuvaa kokemusta, jossa pelaaja tuntee olevansa fyysisesti tai virtuaalisesti osa itse kokemusta.[14] Pelin tarina, teema, visuaaliset elementit, valot ja taustamusiikki ovat oleellisia immersion luomisen kannalta: immersion saavuttamiseen tarvitaan yleensä mielenkiintoinen kehystarina tai teeman sopiva peliympäristö. Pakopelin vahva immersiivisyys tukee virtaustilaan pääsemistä, mutta vahvakin immersio voi rikkoutua, mikäli pulmatehtävien haastavuus ei ole tasapainossa pelaajien taitojen kanssa, tai esimerkiksi pedagogisissa pakopeleissä tehtävien opetuksellinen sisältö nousee liikaa keskiöön.[5,6,12] Immersio motivoi pelaajia, auttaa tiedon omaksumisessa ja jättää pysyvämpiä muistijälkiä.[5,6,12,14,22]

3.1.2. Pelillisyys

Pelit ovat leikkiä muistuttavaa tavoitteellista ja sopivasti haastavaa toimintaa, jossa on selkeästi määritellyt säännöt ja joka sisältää sekä vaikuttamisen mahdollisuuksia, että erilaisia lopputuloksia.[2] Pelin pelaaminen koostuu pelaajien tekemistä valinnoista ja toiminnasta, joilla on selkeästi havaittava ja ennakoitavissa oleva vaikutus pelimaailmaan: valintojen tekeminen luo pelaajalle merkityksellisiä kokemuksia ja elämyksiä. Pelillä on aina selkeä alku, keskikohta ja loppu, ja pelaaja pystyy yleensä seuraamaan edistymistään konkreettisesti. Pelaaminen vaatii ns. pelillistä mieltä: sitoutumista pelin sääntöihin ja keinotekoiseen maailmaan ja antautumista mukaan ”pelin taikapiiriin”.[1,20] Pelisuunnittelun tavoitteena tulisi Tuomiston (2015) mukaan aina olla merkityksellinen pelaaminen, jossa pelaajat vuorovaikuttavat pelin kanssa ja pelaavat tietyn tavoitteen saavuttamiseksi. Pelaamista on monenlaista ja erilaiset pelaaja nauttivat peleissä eri asioista, esimerkiksi eläytymisestä, taitojen kehittymisestä tai elämyksestä.[2] Leikkiminen ja pelaaminen muistuttavat virtaustilaa: ne ovat vapaaehtoisia eli sisäisesti motivoituneita aktiivisen vuorovaikuttamisen kokemuksia, joissa itse pelaamisen prosessi on pelin varsinaista lopputulosta tärkeämpi. [2,20,23]

Kuvaan 13 on koottu peleille tyypillisiä ominaisuuksia, jotka yhdessä mahdollistavat peleissä koettavia onnistumisen kokemuksia. Peleissä on aina selkeä tavoite, joka määrittelee mihin pelaajan tulee pyrkiä pelin voittamiseksi ja tarjoaa motivoivan haasteen. Pelit vaativat pelaajiltaan itseohjautuvuutta ja aktiivisuutta, mutta tarjoavat toisaalta kiinteän viitekehyksen pelaajien toiminnalle, valinnoille ja luovalle ongelmanratkaisulle sääntöjen ja pelimekaniikkojen kautta. Pelit myös tyypillisesti palkitsevat pelaajia esimerkiksi pisteiden, kokemustasojen, saavutusten ja mitalien avulla: näin pelaajat pystyvät yleensä myös seuraamaan edistymistään visuaalisessa muodossa ja vertaamaan edistystään suhteessa muihin pelaajiin. Vaikka palkinnot lisäävät yleensä toiminnan houkuttelevuut-

ta, ei pelkkä palkintojen tai pistesysteemien lisääminen kuitenkaan riitä toiminnon pelillistämiseen ja tee siitä pelaajille mielenkiintoista. Oman suorituksen ja kehityksen vertaaminen muihin voi lisätä motivaatiota ja parantaa suoritusta: pelaaminen on usein sosiaalista toimintaa, jossa pelaajat voiva toimia joko yhteistoiminnallisesti tai kilpailla toisiaan vastaan. Toisin kuin esimerkiksi perinteisessä opetuksessa, jossa oppilaat voivat määritellä omaa taitotasoaan lähinnä opetuksen jälkeen kokeiden kautta, peleissä oman kehityksen seuraaminen jo oppimisen aikana on helppoa: pelit tekevät kehittymisen seuraamisesta konkreettista ja näkyvää erilaisten pisteiden, aikatulosten ja tasojen avulla. Pelit mittaavat pelaajan sen hetkistä osaamista ja kannustavat kehittämään taitoja yrittämällä uudelleen. Ennen kaikkea pelit tarjoavat pelaajalle onnistumisen kokemuksia.[2,6,17,18]

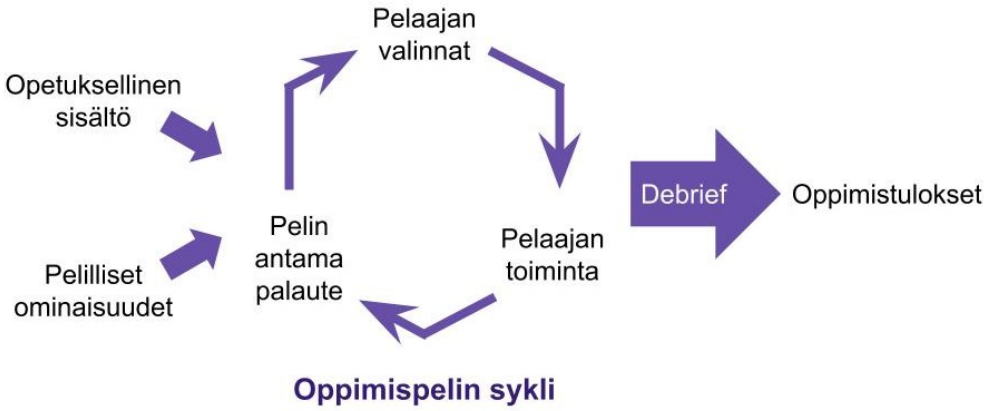


Kuva 13: *Pelaaminen on pelaajalle yleensä haastavaa, mutta palkitsevaa toimintaa, joka saa aikaan onnistumisen kokemuksia ja mahdollistaa tehokkaasti oman kehityksen seuraamisen.*[6]

Oppilaiden sisäisen motivaation lisääminen ja aktiivisen oppimisen tukeminen ovat uusien opetusmenetelmien kehittämisen keskiössä. Yhdeksi mahdolliseksi ratkaisuksi on esitetty opetuksen ja oppimisen pelillistämistä, pelipohjaista oppimista ja erilaisia oppimispelejä.[17] Pelillisyys viittaa peleille tyypillisiin elementteihin, kuten pelimekaniikkoihin, immersioon ja pelilliseen ajatteluun, kun taas pelillistäminen (*gamification*) tarkoittaa näiden ominaisuuksien soveltamista jonkin prosessin pelillisyyden lisäämiseksi varsinaisen peliympäristön ulkopuolella. Pelillistämisen tavoitteena on lisätä pelillistettävän prosessin, esimerkiksi oppimisen tai opetuksen, houkuttelevuutta ja tehdä niistä sisäisesti motivoivampia. Jos oppiminen on kiinnostavaa ja motivoivaa, oppilas on myös valmis näkemään enemmän vaivaa tehtävän suorittamiseen: oppilaiden voi esimerkiksi olla helpompi ymmärtää monimutkaisia tai abstrakteja konsepteja pelillisyyden kautta. Pelillistäminen jää kuitenkin usein harmillisen pinnalliseksi: pelkkä ulkoisen motivaation lisääminen palkintojen ja pistesysteemien kautta ei riitä, vaan pitäisi tukea oppilaiden sisäisen motivaation muodostumista. [6,14,18,20,22]

Oppimispelit (*learning game, educational game*) ovat puolestaan hyötypelejä, jotka on suunniteltu erityisesti tietyn oppisisällön, tietojen ja taitojen opettamiseen, joko kotona tai koulussa. Ne yhdistävät pelillisiä ominaisuuksia oppimissisältöihin ns. oppimispelin syklissä, joka on esitetty kuvassa 14.[25] Oppimispelin sykli kuvaa prosessia, jossa oppilas saa jatkuvaa palautetta pelin aikana tekemistään valinnoista ja reflektoi pelin aikana aktiivisesti omaa toimintaa ja oppimistaan. Parhaisiin oppimistuloksiin päästään kuitenkin vasta oppimispelin jälkeen opettajan fasilitoiman pedagogisen purkukeskustelun kautta, jossa oppimispelin aikana tapahtunutta oppimista voidaan

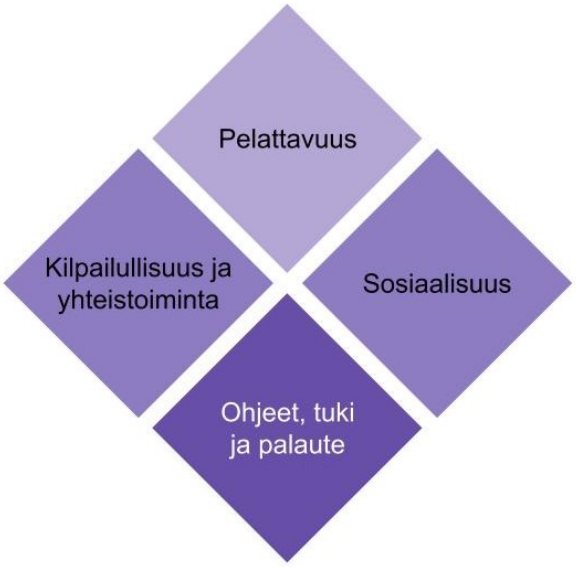
jäsentää ja syventää entisestään. Oppimispelien pelillinen pedagogiikka vaattii perinteistä oppimisympäristöä aktiivisempaa työskentelyä ja vuorovaikuttamista oppimisprosessin ja sen sisällön kanssa: oppilaiden täytyy passiivisen tiedon kuluttamisen tai sääntöjen seuraamisen sijaan osallistua aktiivisesti peliin tuottaen samalla merkityksiä, tietoa ja tuotoksia.[18] Järvilehdon (2015) mukaan oppimispelien tarjoamat autonomian, kompetenssin ja yhteenkuuluvuuden kokemukset voivat edesauttaa virtaustilaan pääsemistä, mikä puolestaan tehostaa oppimisprosessia, lisää oppilaan sisäistä motivaatiota ja innostaa oppimaan ja pelaamaan lisää.[22] Oppimispelien avulla on mahdollista muuntaa opettajakeskeinen oppimistapahtuma oppilaskeskeisemmäksi *flipped classroom* -tyyppisesti ja tukea oppilaiden omaa aktiivisuutta ja itsenäistä oppimista. [2,18,22,23, 25]



Kuva 14: *Oppimispelissä yhdistyvät opetuksellinen sisältö ja pelilliset ominaisuudet sykliksi, jossa pelaaja saa pelin aikana tekemistään valinnoista ja toiminnastaan palautetta, jonka mukaan pelaaja muokkaa valintojaan ja toimintojaan tulevaisuudessa. Oppimistulokset syntyvät pelaamisen jälkeen, kun oppimispelin sisältöä on käyty läpi yhdessä opettajan kanssa debrief- eli purkukeskustelun kautta.* [25]

Oppimispelien pääasiallinen tarkoitus on tukea opetusta muiden opetusmenetelmien rinnalla eikä niillä saisi kokonaan korvata esimerkiksi kemian kokeellista työskentelyä.[2] Oppimispelejä voi hyödyntää sekä uusien asioiden opiskeluun, kuin myös jo opiskeltujen asioiden tai käsitteiden kertaamiseen. Oppimispelien ja pelillistämisen avulla voidaan simuloida tosielämän kokemuksia ja ilmiöitä ja soveltaa opittua tietoa käytännössä.[2,14] Tuomiston mukaan oppimispelien käyttö hyödyttää eniten perinteisessä opetuksessa heikosti suoriutuvia, nopeasti motivaation ja kiinnostuksen kadottavia sekä erityisen tuen tarpeessa olevia oppilaita: hyvin suorituville oppilaille oppimispelit eivät tuo samanlaista hyötyä, vaikka myös he nauttivat niiden pelaamisesta.[2] Oppimispelin täytyy kuitenkin olla hyvin suunniteltu, jotta sen opetuksellinen teho voidaan maksimoida ja oppimispeli sisältää varmasti oppilasta innostavia ja osallistavia elementtejä.[14] Tutkimusten mukaan oikein käytettynä laadukkaat oppimispelit tukevat oppimista ja lisäävät oppilaan kiinnostusta sekä motivaatiota opiskeltavaa aihetta kohtaan.[2] Oppimispelien laatiminen ja sisällyttäminen opetukseen vaatii opettajalta hieman enemmän valmistelua kuin perinteiset opetusmenetelmät, mutta oppimispelien on todettu tutkimuksissa lisäävän oppilaiden motivaation ja kiinnostuksen lisäksi myös oppilaiden kognitiivisia, sosiaalisia ja tunnetaitoja. [2,14]

Kuvassa 15 on esitetty Tuomiston erittelemiä hyvän oppimispelin piirteitä.[2] Pelattavuus viittaa oppimispelin suunnitteluun ja toteutukseen, joka voidaan suorittaa myös yhteistyössä oppilaiden kanssa: tällöin oppilaat joutuvat aktiivisesti pohtimaan opittavia asioita ja niiden välisiä yhteyksiä. Yhteistoiminnallisuus auttaa pelaajia toimimaan rationaalisemmin ja tekemään vähemmän virheitä. Suurin osa oppilaista kokee oppimispeleihin liittyvän kilpailullisuuden ja suorituspaineet myönteisenä, toisin kuin opettajakeskeiseen opiskeluun liittyvät viittaamisen, vastaamisen ja mahdollisen epäonnistumisen paineet. Sosiaalisuus on keskeinen osa pelaamista: keskustelemalla opittavista asioista yhdessä oppilaat prosessoivat samalla asiaa aktiivisesti, vertaillen muiden tietoja omaan tietorakenteeseensa. Koko ryhmä oppii toisiltaan ja tapahtuu merkityksellistä oppimista, jossa oppilas ymmärtää asioita pelkän ulkoa opettelun sijaan. Oppimispeli olisi suositeltavaa rakentaa aina niin, että koko luokka voi osallistua siihen yhtä aikaa. Opettajalla on aktiivinen rooli paitsi pelillistetyn oppimisprosessin suunnittelussa, mutta myös oppimispelin pelaamisessa ja sen ohjaamisessa. Opettajan tehtävänä on seurata ja ohjata oppilasryhmien toimintaa pelin aikana tarjoten motivaation ja oppimistavoitteiden saavuttamisen kannalta tärkeää tukea ja palautetta. Lisäksi pelissä käsiteltyä sisältöä tulisi käydä läpi opettajan johdolla sekä pelin aikana että sen jälkeen, jotta oppilas ymmärtää ja osaa käyttää oppimansa laajemmassa kontekstisssa.[2]



Kuva 15: *Hyvän oppimispelin piirteisiin kuuluvat oppimispelin pelattavuus, yhteistoiminnallisuus ja kilpailullisuus, sosiaalisuus, sekä opettajan tarjoamat ohjeet, tuki ja palaute.*[2]

Pelipohjainen oppiminen (*game-based learning, GBL*) perustuu aina opetuksen ja oppimisen dynaamiseen ja immersiiviseen vuorovaikutukseen, jossa opettaja on määritellyt käytetylle oppimispelille selkeät ja opetussuunnitelmaan sidotut oppimistavoitteet. [19,20] Pelipohjaisessa oppimisessa hyödynnetään pelillistämistä hauskojen, motivoivien ja interaktiivisten oppimisympäristöjen luomiseksi ja tilannekohtaisen kokemuspohjaisen oppimisen tukemiseksi. Interaktiivinen pelipohjainen oppiminen on oppilaskeskeinen lähestymistapa, joka auttaa rikkomaan perinteisiä, passiivisempia opettajalähtöisiä opetus- ja koekäytäntöjä: oppilaskeskeisyys auttaa oppilaita tiedostamaan ja tuomaan esille omia taitojaan sen sijaan, että keskitytään siihen, mitä oppilas ei vielä osaa. Pelipohjainen

oppiminen kannustaa oppilaita oppimaan tekemisen kautta, käyttämään erilaisia ongelmanratkaisutyylejä ja muokkaamaan oppimisprosessia itselleen sopivaksi.[17,19,20,23] Pelipohjaisen oppimisen avulla pyritään myös luomaan turvallinen pelillinen oppimisympäristö, ns. leikin taikapiiri (*magic circle)*, jossa oppilaat uskaltavat kokeilla ja epäonnistua, ottaa riskejä, olla luovia ja nauttia itse oppimisprosessista.[20] Pelipohjaiseen oppimisympäristöön voidaan aktiivisen toiminnallisen oppimisen ja oman oppimisprosessin hallinnan lisäksi sisällyttää myös ryhmätyöskentelyä, kriittistä ajattelua, aiempien tietojen soveltamista, ajanhallintaa ja luovuutta vaativia haasteita. Pelipohjainen oppiminen ja oppimisen aikana saatu välitön palaute auttavat oppilaita tunnistamaan omia vahvuuksiaan ja heikkouksiaan, reflektoimaan omaa oppimistaan ja suunnittelemaan tulevaa toimintaansa kasvattaen samalla oppilaiden sisäistä motivaatiota. Virtaustilan saavuttamiseksi kohdattavat haasteet tulee tasapainottaa oppijan tasoon sopivaksi.[17,19,20,23,]

Suurin osa pelipohjaisen oppimisen tutkimuksesta on tähän mennessä keskittynyt opetuksellisten elementtien lisäämiseen tietokonepeleihin ja digitaalisiin simulaatioihin, mutta myös korttipelejä, lautapelejä ja roolipelejä voidaan hyödyntää oppimispeleinä. Digitaalisten oppimispelien yhdeksi negatiiviseksi puoleksi on havaittu se, että yksinpelattavat digipelit harvoin edistävät yhteistyötä, ryhmätyötaitoja tai oppilaiden välistä vuorovaikutusta. Tosielämän oppimispelien, kuten esimerkiksi *escapED* -projektissa[16,17] kehitettyjen pedagogisten pakopelien, avulla pelipohjainen oppiminen voidaan tuoda konkreettisesti ja oppilaiden välistä vuorovaikutusta korostavalla tavalla mukaan luokkahuoneeseen ja lisätä siten oppilaiden motivaatiota ja osallistumisaktiivisuutta.[6,16,17,20]

Pelillistetty oppiminen on oppilaskeskeistä, yhteistoiminnallista leikkiä, jossa yhdistyvät aktiivinen osallistuminen, toiminnallisuus ja vuorovaikutus ongelmanratkaisuun, että monipuolisiin luoviin haasteisiin oppimistavoitteiden saavuttamiseksi. Toiminnallisessa oppimisessa oppiminen tapahtuu aktiivisesti itse tekemällä ja kokemalla, mikä mahdollistaa konkreettisen vuorovaikuttamisen ilmiön kanssa ja siten syvällisempien merkitysten ja erilaisten näkökulmien ymmärtämisen. Toiminnallisuuden lisäksi tarvitaan myös kokemusten kriittistä pohdintaa ja reflektointia, kykyä ottaa vastuuta omasta toiminnasta, sekä vuorovaikutus- yhteistyö- ja neuvottelutaitoja.[18,23] Leikilliset tai pelilliset oppimisympäristöt kannustavat ja haastavat oppilaita luovaan ongelmanratkaisuun, mielikuvituksen käyttämiseen ja uusien mahdollisuuksien etsimiseen. Tarinallisuuden avulla tehdään tutuksi uusia asioita ja luodaan jännitystä, kun taas yhteisöllinen tekeminen ja pelaaminen tukevat oppimista ja tiedon sisäistämistä- Pelillisten ominaisuuksien, kuten ongelmanratkaisun, luovan ja soveltavan yhteistyön sekä aktiivisen osallistumisen sisällyttäminen opetukseen puolestaan rohkaisee oppilaita ottamaan vastuuta omasta kehityksestään ja saavutuksistaan.[18] Pedagogiset pakopelit sopivat hyvin pelillistetyiksi oppimisympäristöiksi, sillä ne kannustavat aktiiviseen kokeilemalla ja tekemällä oppimiseen, vuorovaikutukseen ja yhteistyöhön, ja niihin liittyy virtaustilan kautta saavutettavia, erittäin palkitsevia onnistumisen kokemuksia.[18,20,23]

Pedagogiset pakopelit perustuvat sosiokonstruktivistiseen oppimisnäkemykseen, jossa oppilaat rakentavat aktiivisesti ja itseohjautuvasti tietoa kokemustensa perusteella edetessään pakopelissä tehtäviä ja haasteita ratkoen: tehtävien ratkaisemiseen vaaditaan yleensä yhteistyötä ja vuorovaikutusta muiden oppilaiden kanssa. Opettaja toimii sekä oppimisympäristön rakentajana eli pelisuunnitteli-

jana, että oppilaiden välistä vuorovaikutusta ja oppimisprosessia fasilitoivana pelinohjaajana.[19,26] Kankaan (2016) mukaan opettajalla on keskeinen rooli pelipohjaisessa oppimisessa ja opetussuunnitelmaan pohjautuvien pelillistettyjen oppimisympäristöjen luomisessa: opettaja on silta pelimaailman ja todellisen maailman välillä, ja oppimispelien sisällyttäminen osaksi opetusta vaatii opettajalta aktiivista toimintaa eri rooleissa.[26] Opettajan keskeisiin opetusaktiviteetteihin kuuluvat pedagogisen viitekehyksen luominen, suunnittelu, toteutus, fasilitoiminen ja arviointi. Erityisen tärkeää on määritellä pelin oppimistavoitteet tarkkaan ja keskustella pelin sisällöstä myös sen ulkopuolella perinteisempiä opetusmenetelmiä käyttäen. Kangas on laatinut pelipohjaista opettamista ja oppimista varten luovaa ja leikkisää oppimista hyödyntävän pedagogisen mallin: pelillistetyn oppimisprosessin eri vaiheet sekä opettajan roolit niiden aikana on esitetty kuvassa 16. [19,26]

Kuva 16: *Pelillistetyssä oppimisympäristössä tapahtuvan luovan ja leikillisen oppimisprosessin aikana oppilaat luovat tietoa ja merkityksiä usean eri vaiheen kautta. Opettajalla on useita keskeisiä eri rooleja näiden vaiheiden aikana: oppimispelin toteutuksen ja oppimisen pedagogisen viitekehyksen suunnittelu, tavoitteiden ja työskentelytapojen esittely oppilaille, aktiivinen osallistuminen itse oppimispeliin, sekä oppilaiden oppimiskokemusten reflektoinnin tukeminen sekä pelin aikana että sen jälkeen.*[26]

Oppimispeleissä oppilaat osallistuvat luovaan ja pelilliseen oppimisprosessiin, jossa luodaan yhdessä tietoa neljän vaiheen kautta: orientaation, suunnittelun, pelaamisen ja jatkokehityksen. Opettaja ottaa tämän oppimisprosessin aikana useita rooleja. Toimiessaan orientaatiovaiheessa kouluttajan ja ohjaajan roolissa opettaja tutustuttaa oppilaat oppimispelissä käytettyihin työtapoihin ja teknologiaan ja kertoo peliin sisältyvistä aktiviteeteista sekä niihin liittyvistä oppimistavoitteista oppilaille heitä samalla motivoiden. Suunnitteluvaiheessa opettaja luo myös pedagogisen viitekehyksen ja tavoitteet pelille, mahdollisesti yhteistyössä oppilaiden kanssa. Pelinrakentajan roolissa opettaja kommunikoi käytettävän oppimispelin tehtävät, tavoitteet ja toiminnan oppilaille. Pelin aikana opettaja ottaa pelinrakentajan lisäksi myös pelinohjaajan roolin tukeakseen ja edistääkseen aktiivisesti oppilaiden oppimista, esimerkiksi ohjaten oppilaiden huomiota keskeisiin asioihin ja herätellen keskustelua pelin aikana. Sekä pelin aikana että sen jälkeen opettaja toimii myös arvioijan roolissa ha-

vainnoidessaan, tarkastellessaan ja jäsentäessään oppilaiden pelikokemuksia. Oppimispelin jälkeiset purkukeskustelut (*debrief*) ovat erittäin tärkeitä tehokkaan oppimisen kannalta, sillä niiden aikana opettaja voi korjata mahdollisia oppimispelin aikana syntyneitä väärinkäsityksiä ja auttaa oppilaita yhdistämään opittuja tietoja ja taitoja laajempiin kokonaisuuksiin ja opetussuunnitelmaan. Purkukeskustelu antaa oppilaille mahdollisuuden reflektoida oppimaansa ja oppimiskokemusta. Myös opettajan on tärkeää reflektoida opetusta ja omaa toimintaansa oppimispelin jälkeen opetuksen kehittämiseksi. Kankaan mukaan opettajan pedagogisia tehtäviä ennen oppimispeliä, oppimispelin aikana ja sen jälkeen tulisi tarkastella laajasta näkökulmasta, mukaan lukien myös käytettävissä olevat resurssit.[26]

3.2. Pedagogiset pakopelit ja kemian opetus

Taustatutkimuksen aikana selvisi, että vaikka pakopelit ovat varsin tuore ilmiö, on pedagogisia pakopelejä hyödynnetty jo jonkin verran kemian opetuksessa. Maailmalla kiinnostusta pakopelien hyödyntämiseen oppimispeleinä on ollut jo pidempään, mutta Koirasen mukaan Suomeen ensimmäiset oppimispakopelit saapuivat vasta pakopelien toisen aallon mukana vuonna 2016.[6] Vaikuttaisi siltä, että pakopelejä on jo hyödynnetty monipuolisesti ympäri Suomea niin opetuksessa, opinto-ohjauksessa[27], koulutuksessa, järjestö- ja nuorisotyössä, mediakasvatuksessa kuin myös museoissa.[6,27] Pakopelien avulla on Suomessa opetettu kemian[8,9], matematiikan[10] ja ryhmätyötaitojen[11] lisäksi myös mm. kirjastonkäyttötaitoja ja paikallishistoriaa.[6,8-11] Oppimispakopelien käytön todellista laajuutta on vaikea arvioida, sillä kaikkia kouluissa ja muissa oppilaitoksissa järjestettyjä pedagogisia pakopelejä ei välttämättä kirjata ylös. Pedagogisten pakopelien käytöstä opetusmenetelmänä ei ole vielä tehty opinnäytetöitä laajempaa kotimaista tutkimusta. Suomenkielistä materiaalia ja ohjeita pedagogisten pakopelien suunnitteluun ja käyttöön löytyy esimerkiksi Joona Koirasen *Pedagogiset pakopelit* -kirjasta[6], Joensuun Mediakeskuksen ylläpitämältä *Pakopelit opetuksessa* -sivustolta[28] sekä Tuomo Parkin *Make your Escape! – Opas pedagogisen pakopelin suunnitteluun* -oppaasta[12], joka julkaistiin osana *Light A Bot* -hanketta keväällä 2020.[5,6-12,27,28]

Myös kansainvälinen kiinnostus pedagogisiin pakopeleihin vaikuttaisi olleen kasvussa viime vuosina. Esimerkiksi yksin vuonna 2019 julkaistiin neljä tutkimusartikkelia kemian opetuksessa hyödynnettäviin pedagogisiin pakopeleihin liittyen. Kemian lisäksi pedagogisten pakopelien hyödyntäminen vaikuttaisi kiinnostavan erityisesti muiden luonnontieteiden[29], sairaanhoitoalan[30], kirjastonkäytön[31], medianlukutaidon, kirjallisuuden, historian, maantieteen, sekä ohjelmoinnin ja tilastotieteiden opetuksessa.[3,29-31] Maailmalta löytyy jo myös yrityksiä, jotka myyvät valmiita pedagogisia pakopelipaketteja opetuskäyttöön: yksi näistä on vuonna 2015 perustettu *Breakout EDU*. Sekä pedagogisten että yleisemmin pakopelien suunnitteluun löytyy internetistä myös runsaasti ilmaista, usein englanninkielistä materiaalia. [3,19,29-31]

3.2.1. Pakopelit ja LOPS

Tulevassa lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS 2019, myöh. opetussuunnitelma) kannustetaan laaja-alaiseen, oppiainerajat ylittävään ja oppiaineita yhdistävään monitieteiseen osaamiseen sekä oppiainekohtaisella että yleisellä tasolla.[4] Opetussuunnitelman mukaan laaja-alainen osaaminen ”tukee opiskelijoiden kriittisen ajattelun, yhteistyötaitojen, luovan ongelmanratkaisun, oppimaan oppimisen ja elinikäisen oppimisen taitojen kehittymistä”. Pedagogisiin pakopeleihin voidaan helposti sisällyttää laaja-alaista ja monitieteistä oppiainerajat ylittävää sisältöä, esimerkiksi suunnittelemalla ja toteuttamalla pakopeli yhdessä toisen opettajan kanssa tai osana monialaisten oppimiskokonaisuuksien päivää. Luonnontieteiden ja matematiikan lisäksi kemian pedagogisiin pakopeleihin voidaan tuoda mukaan monialaista sisältöä esimerkiksi tieto- ja viestintäteknologian, taideaineiden ja kädentaitojen avulla. [4,12,16]

Laaja-alaisen osaamisen tavoitteissa mainitaan tiedonhankintataitojen kehittäminen, aiemmin opitun tiedon luova soveltaminen sekä ongelmanratkaisutaitojen kehittäminen. [4] Opetussuunnitelman mukaan opiskelijoiden tulisi kyetä tarkastelemaan erilaisia tieteellisiä, yhteiskunnallisia ja kulttuurillisia ilmiöitä monipuolisesti ja kriittisesti monesta eri näkökulmasta. Pedagogiset pakopelit pulmatehtävineen tukevat luovan ongelmanratkaisun, opitun tiedon soveltamisen sekä ilmiöiden monipuolisen ja kriittisen tarkastelun kehittymistä ja mahdollistavat niiden harjoittelun tavanomaisesta opetuksesta poikkeavassa innostavassa oppimisympäristössä.[4,6,32]

Opetussuunnitelmassa on mainittu lukio-opetuksen yhdeksi tavoitteeksi opiskelijan oppimaan oppimisen taitojen kehittäminen ja monipuolistaminen. Opiskelijaa tulisi myös auttaa löytämään omat vahvuutensa ja tämän itseohjautuvuutta tulisi tukea.[4] Pedagogiset pakopelit tukevat oppilaslähtöistä aktiivista oppimista, jossa korostuu oppilaan oma itsenäinen työskentely tiedon rakentajana ja soveltajana. Pedagogisten pakopelien avulla voidaan paitsi tukea opiskelijaa ottamaan vastuuta omasta oppimisestaan, mutta myös reflektoimaan omaa toimintaansa ja oppimistaan pelikokemuksen kautta. Lisäksi pedagogisten pakopelien tuottamat immersiiviset onnistumisen kokemukset kasvattavat oppilaan sisäistä opiskelumotivaatiota ja auttavat opiskelijoita tunnistamaan omia vahvuuksiaan ja taitojaan. [4,6]

Laaja-alaisen osaamisen tavoitteissa mainitaan sekä opiskelun että työelämän kannalta tärkeiden vuorovaikutus- ja yhteistyötaitojen kehittäminen.[4] Pedagogisten pakopelien avulla on mahdollista tukea monia työelämän kannalta tärkeitä taitoja: ajanhallintaa, paineensietokykyä sekä oppilaiden sosiaalisia taitoja, kuten vuorovaikutus-, yhteistyö-, neuvottelu- ja ryhmätyötaitoja.[15,33] Pedagogisissa pakopeleissä pelaajat toimivat yhteistyössä pulmatehtävien ratkaisemiseksi kommunikoimalla ja neuvottelemalla keskenään: lisäksi pakopelin aikana tapahtuva keskustelu tukee merkityksellistä oppimista, luovaa ongelmanratkaisua ja kriittistä ajattelua.[33] Pedagogisten pakopelien interaktiivisuus ja yhteistoiminnallisuus sopii hyvin yhteen opetussuunnitelmassa mainittujen vertaisoppimisen ja vuorovaikutteisen oppimisen tavoitteiden kanssa.[4,32,33]

Lukion opetussuunnitelman mukaan kemian opetuksen tulisi herättää kiinnostusta kemian opiskelua ja kemian alan ammatteja kohtaan sekä tuoda esiin kemian ja sen sovellusten merkitystä jokapäiväi-

sessä elämässä ja yhteiskunnassa.[4] Kemian opetuksen tulisi tukea opiskelijan kriittisen ajattelun ja tiedon rakentamisen taitojen kehittymistä sekä hyödyntää monipuolisia oppimisympäristöjä, vaihtelevia opetusmenetelmiä sekä tieto- ja viestintäteknologiaa. Valittujen opetusmenetelmien tulisi tukea opiskelijoita oman osaamisensa ja vahvuuksiensa tunnistamisessa, auttaa heitä asettamaan itselleen tavoitteita ja ottamaan vastuuta omasta työskentelystään.[4] Pedagogisten pakopelien avulla kemian teoreettisia oppimissisältöjä voidaan sitoa jokapäiväisen elämään sekä laajempaan yhteiskunnalliseen kontekstiin.[15] Pedagogiset pakopelit tarjoavat innovatiivisen, monipuolisen ja merkityksellistä oppimista tukevan pelillistetyn oppimisympäristön, joka kannustaa aktiiviseen, oppilaslähtöiseen oppimiseen ja tukee opiskelijoita oman kemian osaamisensa tunnistamisessa. Pedagogisten pakopelien immersiivisyyden ja pelillisten elementtien avulla on mahdollista lisätä oppilaiden kiinnostusta ja motivaatiota kemian opiskelua kohtaan.[4,6,15,32]

Opetussuunnitelman kemian osiossa korostetaan myös tutkimuksellisen opiskelun, havaintojen tekemisen ja ongelmanratkaisun merkitystä luovan ajattelun kehittymiselle. Kokeellisen työskentelyn tavoitteena on tukea kemian opetusta tarkastelemalla ilmiöitä eri näkökulmista, tekemällä havaintoja ja tutkimusta, tulkitsemalla ja analysoimalla tuloksia ja tekemällä johtopäätöksiä. Myös monipuolisen tiedonhankinnan, kriittisen ajattelun ja vuorovaikutusosaamisen taitoja sekä omaan kemian osaamiseen perustuvaa tietojen arviointia pidetään opetussuunnitelmassa tärkeänä osana kokeellisuutta. MAOL ry:n ja LOPS 2019 -työryhmän laatiman lisämateriaalin mukaan kokeellisuus voi käsittää kemian opetuksessa perinteisen kokeellisen työskentelyn lisäksi esimerkiksi videoiden, demonstraatioiden tai simulaatioiden avulla toteutettua kokeellisuutta.[34] Lisäksi materiaalissa korostetaan, että lukion kemian opetuksessa keskeistä on nähdä kemia ”ongelmien ratkaisijana” sekä auttaa oppilaita tunnistamaan kemian merkitys yksilön ja yhteiskunnan kannalta. Arvioinnin osalta opetussuunnitelmassa korostetaan kemiallisen tiedon hankkimisen ja soveltamisen, tutkimisen ja kokeellisen työskentelyn taitojen, sekä luonnontieteellisten syy-seuraussuhteiden hahmottamisen tärkeyttä.[4] Pedagogisten pakopelien sisällyttäminen kemian kokeelliseen työskentelyyn perustuu yhteistoiminnallisuuteen ja aktiiviseen oppimiseen, jossa oppilaat työskentelevät yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. Pedagogiset pakopelit tarjoavat lisäksi motivoivan ja immersiivisen oppimisympäristön, jossa kemian ilmiöitä on mahdollista tarkastella tutkimuksellisella työskentelyotteella monesta eri näkökulmasta opiskelijan aiempia tietoja soveltaen, omia taitoja testaten ja kokeellisia taitoja harjoittaen.[4,15,32,34,35]

Suunniteltu kemian pakopeli käsittelee orgaanisia yhdisteitä: vuoden 2019 opetussuunnitelman mukaan pakopelin oppimissisällöt sijoittuvat enimmäkseen lukion kemian valtakunnallisten valinnaisten opintojen moduuliin KE3, sekä osittain myös pakollisten opintojen moduuliin KE2. KE3-moduulissa käsitellään hiilen yhdisteitä, rakenteita ja ominaisuuksia sekä hiiliyhdisteiden merkitystä jokapäiväisessä elämässä mm. hyvinvoinnin ja terveyden kannalta. Suunnitellun kemian pakopelin kannalta KE3-moduulin keskeisinä tavoitteina mainitaan opetussuunnitelmassa hiilen yhdisteisiin liittyvän tiedon soveltaminen jokapäiväisen elämän ilmiöissä, hiilen yhdisteiden tutkiminen kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen sekä hiiliyhdisteisiin liittyvän tiedon rakentumisen kokeellisuuden ja mallintamisen kautta ymmärtäminen. Opetussuunnitelmassa ehdotetaan moduulin sisältöjä tarkasteltavaksi esimerkiksi arjen ja elinympäristön molekyylien, kosmetiikan, lääkkeiden ja fysio-

logisesti vaikuttavien aineiden kautta. KE2-moduulissa harjoitellaan erityisesti johtopäätösten tekemistä havaintojen perusteella kokeellisten töiden aikana. Lisäksi KE2-moduulin keskeisinä tavoitteina mainitaan aineen ominaisuuksien kokeellinen tutkiminen, aineen rakenteen mallintaminen sekä kiinnostuksen herättäminen ja syventäminen kemiaa ja kemian opiskelua kohtaan. Lisämateriaalissa tarkennetaan KE3-moduulin keskeisiksi taidoiksi selvästi mm. erottuvien funktionaalisten ryhmien tunnistaminen IR-spektristä, yhdisteiden nimeäminen ja isomeerien esittäminen, orgaanisten yhdisteiden mallintaminen yleisiä rakennekaavoja piirrettäessä sekä hiiliyhdisteiden, erityisesti stereoisomeerien esittäminen ja esitysten tulkitseminen.[4,34]

Hyvin suunnitellun pedagogisten pakopelin avulla on mahdollista saavuttaa monia lukion opetussuunnitelmassa mainittuja yleisiä, laaja-alaisen osaamisen tavoitteita sekä kemian opetuksen oppimistavoitteita. Edellä mainittuihin tavoitteisiin on pyritty myös suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä: yhtenä keskeisimmistä erityisesti oppilaiden sisäisen motivaation kasvattaminen ja kiinnostuksen herättäminen kemiaa ja kemian opiskelua kohtaan. Suunnitellun kemian pakopelin oppimistavoitteet ja -sisällöt on valittu tukemaan edellä mainittuja opetussuunnitelman kemian opetuksen tavoitteita ja erityisesti orgaanisten yhdisteiden kemian keskeisiä sisältöjä noudattaen. Pakopelin sisältämät pulmatehtävät ja haasteet suunniteltiin valittuihin oppimistavoitteisiin ja -sisältöihin sekä pakopelin teemaan ja kehystarinaan sopiviksi immersiivisyyden ja siten virtaustilan syventämiseksi.

3.2.2. Kemian pedagogiset pakopelit

Sekä Suomessa että maailmalla on järjestetty jo jonkin verran kemian opetukseen suunnattuja pedagogisia pakopelejä: esimerkkejä kansainvälisesti tutkituista sekä Suomessa järjestetyistä kemian pakopeleistä on koottu taulukkoon 1.[19] Suurin osa taulukossa 1 tarkastelluista kemian pedagogisista pakopeleistä on suunnattu joko lukiolaisille tai korkeakouluopiskelijoille. Tarkasteltujen kemian pedagogisten pakopelien kesto on ollut tyypillisesti n. 45-60 minuuttia, joskin peliajan ilmoittamiskäytännöt vaihtelivat hieman: osassa tutkituista pakopeleistä ilmoitettu aika sisältää varsinaisen peliajan lisäksi myös alustavat ohjeistukset, pelin jälkeisen purkukeskustelun sekä pelautusten väliset pakopelitilan valmistelut, kun taas osa sisältää vain pakopelin varsinaisen peliajan. Tutkittujen kemian pedagogisten pakopelien pelaajamäärä vaihtelee jonkin verran, mutta oli keskimäärin noin 5 oppilasta per joukkue, mikä on hieman korkeampi pelaajamäärä joukkuetta kohden kuin kaupallisten pakopelien keskiarvo.[3] Pakopelien käytännön järjestelyissä näkyy myös jonkin verran vaihtelua: suurimmassa osassa joukkueet suorittavat pakopelin yksi kerrallaan, mutta muutamissa pakopeleissä on hyödynnetty myös ratkaisuja, joissa useampi joukkue tai jopa kaikki joukkueet suorittavat pakopeliä yhtä aikaa joko samassa tai eri tilassa. Suurin osa tarkastelluista kemian pedagogisista pakopeleistä on järjestetty joko kokeellisen työskentelyn mahdollistavassa kemian luokassa tai kemian laboratoriossa, ja muutama pakopeli on suunniteltu helposti liikuteltavaksi ja käytettäväksi eri tiloissa.[3,8,9,15,19,32,33,35-37]

Taulukko 1: *Kansainvälisesti tutkittuja ja Suomessa järjestettyjä kemian pedagogisia pakopelejä.*[8,9,15,32,33,35-37]

Kemian pakopelin nimi	Vuosi	Taso	Aika	Ryhmäkoko	Tehtävätyypit	Tarkoitus
Pako kemianluokasta - motivaatiota kemian opiskeluun [8]	2017	Lukio	45 min	4-6 hengen ryhmät (erilaisia ratkaisuja)	Kokeellisia töitä ja perinteisiä pakopelitehtäviä	Motivointi, ryhmäytyminen, kertaus
Escape Classroom: The Leblanc Process: An Educational Escape Game [32]	2018	Lukio / Yliopisto	60 min	5-7 hengen ryhmät (eri aikaan)	Kirjalliset pulmatehtävät	Opetuksen tukeminen, ryhmäytyminen
Lumottu pakohuone - lukiolaisille suunnattu kemian pulmapeli [9]	2019	Lukio	45 min	4 x 4 hengen ryhmät (2 ryhmää eri huoneissa yhtä aikaa)	Kokeellisia töitä ja pelillisiä elementtejä	Hauska aktiviteetti, uuden opetus, kertaus
A Lab-Based Chemical Escape Room: Educational, Mobile and Fun! [15]	2019	Lukio	60 min	4 x 6 hengen ryhmät (yhtä aikaa)	Kirjallisia pulmatehtäviä ja yksinkert. kokeellisia töitä	Motivointi
Escape Class Room: Can You Solve a Crime Using the Analytical Process? [33]	2019	Yliopisto	60 min	Alle 6 hengen ryhmät (eri aikaan)	Kokeellisia töitä: mm. GC analyysi	Arviointi
Escape the Lab: An Interactive Escape-Room Game as a Laboratory Experiment [35]	2019	Yliopisto	60 min	4-6 hengen ryhmät (eri aikaan)	Kirjallisia pulmatehtäviä ja kokeellisia töitä: mm. GC, MS, UV-vis spec	Lab.työskentelyn harjoittelu
Do-It-Yourself: Creating and Implementing a Periodic Table of the Elements Chemical Escape Room [36]	2019	Yläkoulu →	55 min	2-8 hengen ryhmät (24 henk. yhtä aikaa)	Kirjallisia pulmatehtäviä ja yksinkert. kokeellisia töitä	Motivointi
ChemEscape: Educational Battle Box Puzzle Activities for Engaging Outreach and Active Learning in General Chemistry [37]	2020	Alakoulu + Korkeakoulu	30 / 10 min	2-4 hengen ryhmät (eri aikaan)	Yksinkert. kokeellisista töistä (4 / 2 kpl) koostuva "puzzle box"	Motivointi, kilpailu

Tarkasteltujen kemian pedagogisten pakopelien tehtävien sisältö ja käytetyt tehtävätyypit vaihtelevat perinteisemmistä pakopelimäisistä tehtävistä ja kirjallisista kemian pulmatehtävistä sekä yksinkertaisempiin, että vaativampiin kokeellisiin töihin, esimerkiksi kaasukromatografisiin ja massaspektrometrisiin analyyseihin.[33,35] Lähes kaikki sisältävät kuitenkin kokeellisuutta jossain muodossa. Lähes kaikissa kemian pedagogisissa pakopeleissä on ainakin jonkinlainen kevyt kehystarina ja mahdollisesti myös selkeä teema.[8,15,32,35,36] Osassa pakopelejä immersiivisyys on viety pidemmälle ja esimerkiksi pulmatehtävät on suunniteltu osaksi pelin läpi etenevää juonta.[9,33] Suurin osa kemian pedagogisista pakopeleistä on suunniteltu hauskaksi ja motivoivaksi aktiviteetiksi oppilaille, muutamassa harjoitellaan tai kerrataan tiettyjä tietoja ja taitoja, ja lisäksi yhtä kemian pakopeliä käytettiin arvioinnin apuvälineenä. Lisäksi tutkituissa pakopeleissä hyödynnetään sekä kilpailullisia, että joukkueiden väliseen yhteistyöhön kannustavia elementtejä.[8,9,15,19,32,33,35-37]

Kemian pedagogisia pakopelejä tarkastelleen Fotariksen mukaan kemian pedagogisista pakopeleistä on saatu tähän mennessä pääasiassa positiivista palautetta: oppilaiden välisen kommunikaation ja yhteistyön on koettu parantuneen, oppilaiden kiinnostus kemiaa kohtaan on kasvanut ja oppilaat ovat olleet yleisesti ottaen tyytyväisiä pakopeleihin kemian opetusmenetelmänä.[19] Oppilaat ovat pitäneet kemian pakopelejä hauskoina kokemuksina, jotka loivat yhteenkuuluvuuden tunnetta, opettivat uusia asioita ja saivat osallistumaan opetukseen tavallista enemmän. Monet oppilaat ovat kokeneet myös muistavansa keskeisiä tietoa ja taitoja paremmin, kun ne oli opetettu uudella ja kiinnostavalla tavalla pedagogisen pakopelin avulla.[31] Kemian pedagogisissa pakopeleissä on myös usein havaittu oppilaiden keskustelevan keskenään pulmatehtävien kemiasta pakopelin aikana, mikä

tukee kemian syvällisempää ja merkityksellisempää oppimista ja vuorovaikutustaitojen kehittymistä. [9,19,31]

Pedagogisissa pakopeleissä on selkeästi potentiaalia kemian opetuksen innostavaksi ja monipuoliseksi toiminnalliseksi opetusmenetelmäksi. Niitä voidaan hyödyntää osana perinteistä opetusta, kokonaisvaltaisesti tiettyyn aiheeseen keskittyvänä pelillistettynä oppimisympäristönä tai yksittäisenä hauskana kemian opiskeluun motivoivana aktiviteettina. Pedagogisten pakopelien avulla voidaan sekä oppia uusia kemian sisältöjä, että kerrata ja soveltaa jo opittuja asioita laajemmissa konteksteissa tai tosielämää simuloivissa pelillistetyissä ympäristöissä. Niissä voidaan hyödyntää monenlaisia kemian tietoja ja taitoja harjoittavia pulmatehtäviä, ja ne soveltuvat hyvin monialaisten, samaa ilmiötä useasta näkökulmasta tarkastelevien kokonaisuuksien opettamiseen. Pedagogisia pakopelejä voi myös hyödyntää vuorovaikutus- ja yhteistyötaitojen harjoittelussa sekä ryhmäyttämisen välineenä.[11,19]

Pedagogisten pakopelien hyödyntämisessä on kuitenkin myös käytännön haasteita, joista keskeisimmät ovat tähän mennessä tutkimusten mukaan liittyneet suurten ryhmäkokojen, tiukkojen aikataulujen sekä käytettävissä olevien tilojen ja muiden resurssien asettamiin rajoituksiin.[19] Opettajat ovat lisäksi kokeneet erityisen haastavaksi pedagogisen pakopelin suunnitteluun ja valmisteluihin vaatiman ajan ja kuormittavuuden, pulmatehtävien vaikeustason säätämisen oppilaille sopivaksi ja oppimistavoitteiden saavuttamisen konkreettisen arvioinnin.[19] Nämä yleiset haasteet on otettu huomioon tässä tutkimuksessa kemian pedagogisen pakopelin suunnittelun reunaehtoina, joille on lähdetty etsimään ratkaisuja.[19]

4. Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten pedagogiset pakopelit soveltuvat kemian opetusmenetelmäksi ja kuinka pedagogisia pakopelejä voitaisiin hyödyntää lukion kemian opetuksessa. Tutkimuksen osana päätettiin suunnitella ja toteuttaa johonkin lukion opetussuunnitelmaan sisältyvään orgaanisen kemian oppimissisältöön keskittyvä ja Itä-Suomen yliopiston kemian laitoksen kemian opettajaopiskelijoille teetetyn alustavan kyselyn perusteella määritellyt reunaehdot täyttävä pedagoginen pakopeli. Suunnitellun kemian pakopelin aihe, oppimistavoitteet ja -sisällöt tarkentuivat myöhemmin koskemaan orgaanisten yhdisteiden kemiaa, erityisesti elintarvikkeiden sekä haju- ja makuaineiden kemiaa. Suunniteltu kemian pedagoginen pakopeli oli tarkoitus testata ensin kemian opettajaopiskelijoilla ja myöhemmin mahdollisesti lukiolaisilla kouluyhteistyövierailun aikana opettajaopiskelijoiden avustuksella. Valitettavasti keväällä 2020 alkaneen COVID-19 -pandemian vuoksi tutkimuksen kokeellista osuutta, jossa suunniteltua pakopeliä olisi testattu käytännössä, ei voitu toteuttaa.

Vaikka suunniteltua pedagogista pakopeliä ei pystytty testaamaan käytännössä, päätettiin tutkimus suorittaa loppuun kirjallisuusanalyysinä. Tutkimuksen kokeellisessa osiossa painotus siirtyi yksittäisen kemian pedagogisen pakopelin suunnittelusta ja toteutuksesta kattamaan myös yleisemmin kemian opetuksessa hyödynnettävien pedagogisten pakopelien suunnitteluprosessia ja siinä huomioitavia seikkoja. Tutkimuksessa käydään läpi yleisesti kemian opetuksessa hyödynnettävän pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessia ja lisäksi käytetään esimerkkinä suunniteltua kemian pakopelin konseptia.

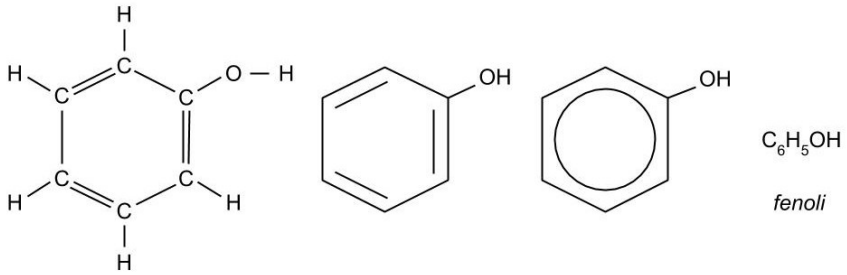
Vaikka pakopelit ovat varsin uusi ilmiö, löytyi niiden hyödyntämisestä opetusmenetelmänä erityisesti kemian alalla yllättävän paljon kansainvälisiä artikkeleita ja tutkimusta. Suomessa ei ole vielä julkaistu akateemista tutkimusta pedagogisten pakopelien hyödyntämisestä kemian opetuksessa. Aiheesta on kuitenkin kirjoitettu viime vuosina jo muutamia kemian opinnäytetöitä, joiden osana on suunniteltu ja toteutettu erilaisia pakopelikonsepteja.[8,9] Viimeisen parin vuoden sisällä Suomessa on myös julkaistu omat kirjansa sekä yleisemmin pakohuonepeleistä, että pedagogisista pakopeleistä.[5,6] Joensuun Mediakeskus ylläpitää myös suomenkielistä pedagogisten pakopelien suunnitteluun keskittyvää sivustoa[28], ja aiheesta on julkaistu keväällä 2020 myös opas[12] pedagogisen pakopelin suunnitteluun.[8,9,12,28]

5. Orgaaniset yhdisteet lukion kemiassa

5.1. Orgaanisten yhdisteiden rakenne ja sen mallintaminen

Orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niihin sitoutuneita atomeita ja funktionaalisia ryhmiä voidaan kuvata monella eri tapaa. Yksi tapa on kirjoittaa orgaaninen yhdiste molekyylikaavaksi, joka kertoo yhdisteen sisältämien alkuaineatomien määrät yhdessä moolissa yhdistettä. Esimerkiksi fenolin molekyylikaava voidaan kirjoittaa joko muodossa C_6H_6O tai muodossa C_6H_5OH, jolloin hydroksyyliryhmä on kirjoitettu auki molekyylikaavan loppuun. Molekyylikaava kertoo vain yhdisteen sisältämät alkuaineatomit, ei sitä millaisia sidoksia orgaanisessa yhdisteessä on läsnä.[38]

Tarkempaa tietoa orgaanisen yhdisteen rakenteesta ja sen sisältämistä sidoksista saadaan kirjoittamalla yhdiste auki rakennekaavaksi. Vasta rakennekaavan perusteella voidaan päätellä, mistä orgaanisesta yhdisteestä on kyse ja kuinka atomit ovat sitoutuneet toisiinsa. Yksityiskohtaisin tapa esittää rakennekaava on piirtää näkyviin kaikki atomien väliset sidokset sidosviivakaavaksi. Hiiliketjut ja -renkaat voidaan esittää myös yksinkertaistetummin viivakaavana. Viivakaavassa hiiliatomeja tai niihin sitoutuneita vetyatomeja ei merkitä näkyviin, vaan ainoastaan atomien väliset sidokset, funktionaaliset ryhmät ja mahdolliset substituentit merkitään tarkemmin. Fenolin rakenne on esitetty sidosviivakaavan sekä kahden eri viivakaavan muodossa kuvassa 17.[38]



Kuva 17. *Fenolin rakennekaavan eri esitystapoja: sidosviivakaava, kaksi viivakaavan esitystapaa sekä yhdisteen molekyylikaava.*

5.2. Orgaanisten yhdisteiden sidokset

Neljä ulkoelektronia sisältävän elektronirakenteensa vuoksi hiiliatomi voi muodostaa aina maksimissaan neljä kovalenttista sidosta muihin hiiliatomeihin. Nämä sidokset voivat olla yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia, kaksoissidoksia tai kolmoissidoksia: hiiliatomien välillä on tällöin joko yksi, kaksi tai kolme yhteistä elektroniparia. Hiiliatomien sitoutuessa toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla

muodostuu hiiliketjuja, jotka voivat olla joko avoketjuisia eli asyklisiä, tai rengasmaisia eli syklisiä. Hiiliketjut voivat olla suoria tai haarautuneita. Hiiliketjua, joka sisältää vain hiiliatomien välisiä yksinkertaisia sidoksia, kutsutaan tyydyttyneeksi yhdisteeksi. Jos hiiliketju sisältää hiiliatomien välisiä kaksois- tai kolmoissidoksia, kutsutaan sitä tyydyttymättömäksi yhdisteeksi. Aromaattisissa yhdisteissä yhtenä rakenneosana on bentseenirengas (C_6H_6), jossa kaikki hiili-hiili-sidokset ovat delokalisoituneiden elektronien vuoksi yhtä pitkiä ja yhtä vahvoja.[38]

Hiiliatomit voivat sitoutua yksinkertaisella kovalenttisella sidoksella, kaksoissidoksella tai kolmoissidoksella myös muihin epämetalliatomeihin, esimerkiksi vetyyn, happeen ja typpeen. Sidostyyppi riippuu jaettujen elektroniparien määrästä: esimerkiksi vedyn kanssa hiili muodostaa aina yksinkertaisen kovalenttisen sidoksen, sillä vedyllä on vain yksi ulkoelektroni. Kaksoissidoksen hiiliatomi voi muodostaa esimerkiksi happi- tai typpiatomin kanssa, ja kolmoissidoksen typpiatomin kanssa. Bentseenirenkaan hiilet voivat sitoutua muihin atomeihin vain yksinkertaisilla kovalenttisilla sidoksilla. Taulukossa 2 on esitetty orgaanisten yhdisteiden eri sidostyyppejä.[38]

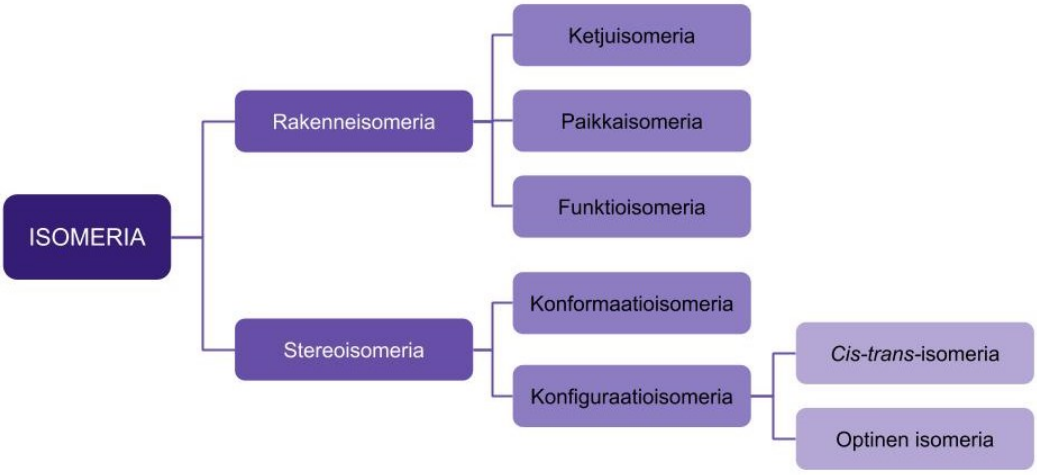
Taulukko 2. *Orgaanisissa yhdisteissä voi olla hiiliatomien välillä yksinkertaisia, kaksinkertaisia tai kolminkertaisia kovalenttisia sidoksia. Hiiliatomi voi sitoutua kovalenttisesti myös muihin alkuaineisiin, esimerkiksi vetyyn, happeen, typpeen tai johonkin halogeeniin (X).*[38]

Yksinkertainen sidos	Kaksoissidos	Kolmoissidos
—C—C—	>C=C<	—C≡C—
—C—H	>C=O	—C≡N
—C—O—	>C=N—	
—C—N<		
—C—X		

5.3. Isomeria

Isomeria kuvaa ilmiötä, jossa useammalla orgaanisella yhdisteellä on sama molekyylikaava, mutta eri rakennekaava. Yhdisteitä, jotka sisältävät saman määrän samoja atomeja, mutta ovat sitoutuneet

toisiinsa eri tavoin kutsutaan isomeereiksi. Erilaisesta rakenteesta johtuen isomeereillä voi olla erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, esimerkiksi sulamis- ja kiehumispisteitä tai liukoisuuksia. Kuten kuvassa 18 on esitetty, isomeria voidaan jakaa ilmiönä kahteen eri päälajiin, rakenneisomeriaan ja stereoisomeriaan sen mukaan, kuinka isomeerien atomit ovat järjestäytyneet yhdisteessä tai kuinka atomien väliset sidokset ovat suuntautuneet avaruudellisesti. [38]

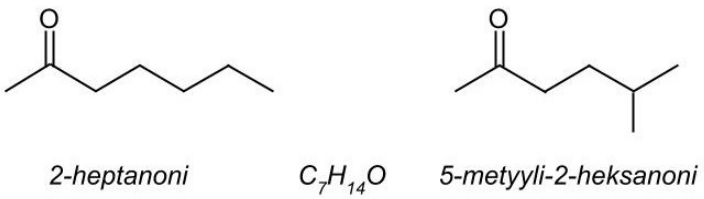


Kuva 18. *Orgaanisten yhdisteiden rakenteissa esiintyvän isomerian jaottelua rakenneisomeriaan ja stereoisomeriaan sekä niiden eri alalajeihin.*

5.3.1. Rakenneisomeria

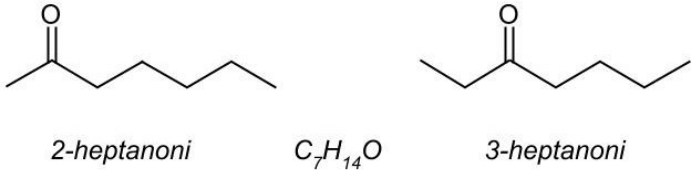
Rakenneisomeriassa yhdisteillä on sama molekyylikaava, mutta niiden sisältämät alkuaineatomit ovat sitoutuneet toisiinsa keskenään eri tavoin. Rakenneisomeria voidaan jakaa edelleen kolmeen eri alalajiin: runko- eli ketjuisomeriaan, paikkaisomeriaan sekä funktioisomeriaan. [38]

Runko- eli ketjuisomeriassa yhdisteillä on sama molekyylikaava, mutta niiden hiiliketjujen rakenne poikkeaa toisistaan: hiiliketju voi olla suora tai haarautunut. Hiiliketjun haarautumisen vuoksi ketjuisomeerien fysikaaliset ominaisuudet kuten sulamis- ja kiehumispiste vaihtelevat. Kuvassa 19 on esitetty esimerkki ketjuisomeriasta. Molemmilla yhdisteillä on sama molekyylikaava, mutta ne ovat rakentuneet eri tavalla: 2-heptanonin hiiliketju on suora, ja 5-metyyli-2-heksanonin hiiliketju on haaroittunut. Molemmissa yhdisteissä on myös sama funktionaalinen ryhmä, jonka paikka hiiliketjussa ei muutu. 2-heptanonin aromi on banaanimainen ja sitä käytetään elintarviketeollisuuden lisäaineena ja hajuvesiteollisuudessa: lisäksi 2-heptanonilla on osansa sinihomejuustolle tyypillisen tuoksun muodostumisessa. 2-heptanonin ketjuisomeerin 5-metyyli-2-heksanonin hedelmäistä aromia esiintyy puolestaan mm. papaijassa, mustassa teessä sekä kypsennetyssä naudanlihassa. [38]



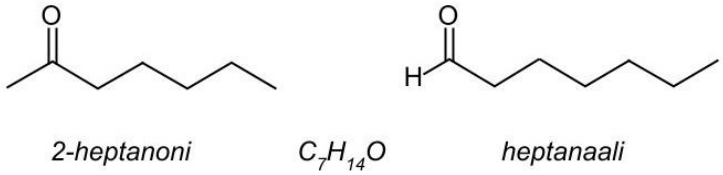
Kuva 19. *Suoraketjuinen 2-heptanoni ja haaroittuneen hiiliketjun omaava 5-metyyli-heksanoni ovat esimerkki ketjuisomeriasta.*

Paikkaisomeriassa yhdisteillä on sama molekyylikaava ja ne sisältävät saman funktionaalisen ryhmän, jonka paikka hiiliketjussa voi vaihdella: funktionaalinen ryhmä voi toisessa isomeerissä olla kiinnittynyt esimerkiksi hiiliketjun keskelle ja toisessa hiiliketjun päähän. Paikkaisomeereillä on sekä erilaisia fysikaalisia että kemiallisia ominaisuuksia, sillä esimerkiksi primäärit ja sekundääriset alkoholit hapettuvat eri tavalla sen mukaan, minne hydroksyyliryhmä on hiiliketjussa sijoittunut. Kuvassa 20 on esitetty esimerkki paikkaisomeriasta: 2-heptanonissa ketoryhmä on kiinnittynyt seitsemästä hiiliatomista koostuvan ketjun toiseen hiileen, kun taas 3-heptanonissa ketoryhmä on kiinnittynyt kolmanteen hiileen. 3-heptanonia käytetään 2-heptanonin tapaan lisäaineena elintarviketeollisuudessa ja sillä on lievän hedelmäinen ja raikkaan ”vihreä” aromi. [38]



Kuva 20. *2-heptanoni on osa sinihomejuuston tuoksun muodostumista, mutta sen paikkaisomeeri 3-heptanoni tuoksuu raikkaan ”vihreälle” ja kukkaiselle.*

Funktioisomeriassa yhdisteillä on sama molekyylikaava, mutta ne sisältävät erilaisen funktionaalisen ryhmän. Koska isomeereillä on täysin erilainen funktionaalinen ryhmä, myös niiden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ovat hyvin erilaisia. Kuvassa 21 on esitetty esimerkki ketonin ja aldehydin välisestä funktioisomeriasta: ketoryhmän sisältävällä 2-heptanonilla ja aldehydiryhmän sisältävällä heptanaalilla on muuten sama seitsemästä hiilestä koostuva hiiliketju. Funktionaalisen isomeerinsä tavoin heptanaalia käytetään elintarviketeollisuuden lisäaineena sekä myös hajusteissa ja kosmetiikassa: luonnossa heptanaalia esiintyy maustepippurissa ja sillä on vahva hedelmäinen aromi. [38]



Kuva 21. *Esimerkki funktionaalisesta isomeriasta, jota hyödynnettiin tässä tutkimuksessa suunnitellun pedagogisen pakopelin tehtävässä 2. Maltaiselta tuoksuvan 3-metyylibutanaalin funktionaalinen isomeeri on asetonimaiselta tuoksuva 3-metyylibutanoni.*

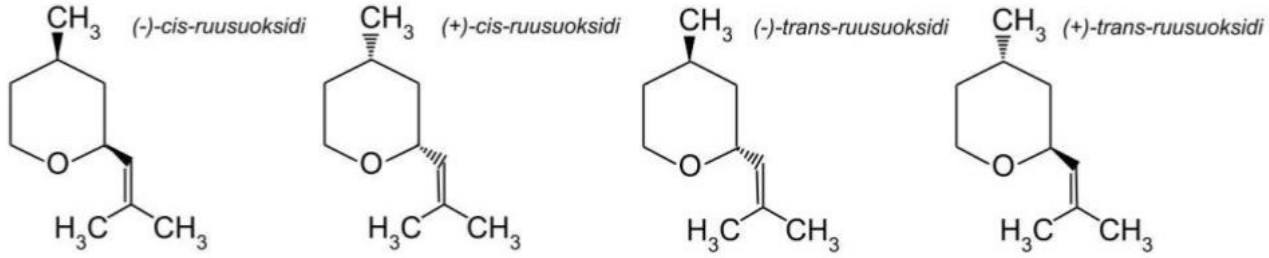
5.3.2. Stereoisomeria

Stereoisomeriassa yhdisteillä on sama molekyylikaava ja niiden sisältämät atomit ovat sitoutuneet toisiinsa samalla tapaa, mutta atomien väliset sidokset ovat suuntautuneet avaruudellisesti eri tavalla. Stereoisomeria voidaan jakaa edelleen kahteen alalajiin: konformaatioisomeriaan ja konfiguraatioisomeriaan. [38]

Konformaatioisomeriaa esiintyy sellaisilla yhdisteillä, joissa atomien välillä on yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia: yksinkertaiset sidokset voivat kiertyä vapaasti sidosakselinsa ympäri muodostaen erilaisia avaruudellisia rakenteita eli konformaatioita. Käytännössä pysyvimpiä konformaatioisomeerejä ovat sellaiset avaruudelliset rakenteet, joissa esimerkiksi hiiliatomeihin kiinnittyneet vetyatomit ovat suuntautuneet mahdollisimman kauas toisistaan. Myös esimerkiksi syklisten yhdisteiden hiiliatomien väliset yksinkertaiset kovalenttiset sidokset voivat taipua ja muodostaa erilaisia konformaatioisomeerejä: esimerkkinä tästä sykloheksaanin ns. tuolimuoto ja venemuoto, jotka on esitelty kuvassa 22. Aromaattisessa renkaassa ei sen sijaan esiinny konformaatioisomeriaa, sillä siinä hiiliatomien välillä on jäykkiä π-sidoksia. [38]

Kuva 22. *Sykloheksaanin kahdesta konformaatioisomeeristä tuolimuoto on huomattavasti pysyvämpi normaaliolosuhteissa kuin venemuoto.*

Konfiguraatioisomerialla on kaksi eri muotoa: cis-trans-isomeria ja optinen isomeria. Cis-trans-isomeriaa voi esiintyä yhdisteillä, joissa hiiliatomien välillä on kaksoissidoksia: toisin kuin yksinkertaiset sidokset, kaksoissidokset ovat jäykkiä eivätkä voi kiertyä ja muodostavat tason, jonka samalle tai vastakkaiselle puolelle hiiliatomeihin liittyneet atomit tai atomiryhmät pysyvästi suuntautuvat. Jos eri hiiliatomeihin sitoutuneet atomit tai atomiryhmät suuntautuvat kaksoissidoksen samalle puolelle, kyseessä on isomeerin cis-muoto. Vastaavasti jos atomit tai atomiryhmät suuntautuvat kaksoissidoksen vastakkaisille puolille, kyseessä on trans-muoto. Cis-trans-isomeriaa voi esiintyä myös syklisillä yhdisteillä, mikäli renkaan hiiliatomeihin on liittynyt vetyatomien lisäksi myös muita atomeja tai atomiryhmiä: syklisillä yhdisteillä rengas muodostaa tason, jonka samalle tai eri puolelle atomit ja atomiryhmät suuntautuvat avaruudellisesti. Cis-trans-isomeerien kemialliset ominaisuudet ovat usein samankaltaiset, mutta niiden fysikaaliset ominaisuudet voivat erota toisistaan. Kuvassa 23 esiintyvällä ruusuoksidilla eli tetrahydro-4-metyyli-2-(2-metyylipropenyyli)-2*H*-pyraanilla esiintyy sekä cis-trans-isomeriaa, että optista isomeriaa.[38]

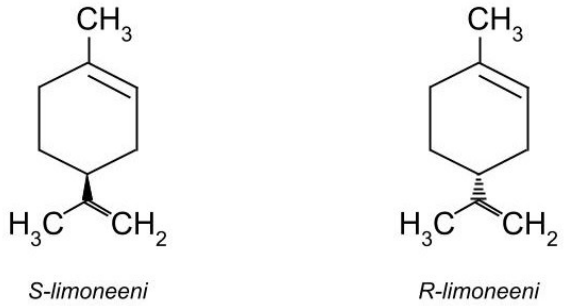


Kuva 23. *Ruusuoksidilla esiintyy sekä cis-trans-isomeriaa, että optista isomeriaa.*

Mikäli kaksoissidoksen hiiliatomeihin on liittynyt kolme tai neljä erilaista atomia tai atomiryhmää, käytetään cis-trans-isomerian sijaan E/Z-merkintää. Tätä isomerian muotoa ei kuitenkaan käsitellä pakopelin tehtävissä. [38]

Optista isomeriaa esiintyy yhdisteillä, joilla on kiraliakeskus eli asymmetrinen hiiliatomi: tällöin vähintään yhteen hiiliatomiin on liittynyt neljä erilaista atomia tai atomiryhmää. Yhdisteet, joilla esiintyy optista isomeriaa ovat optisesti aktiivisia, eli yhdisteen optiset isomeerit kääntävät tasopolarisoidun valon värähtelytasoa eri suuntiin. Tasopolaroitua valoa vastapäivään kääntävä optinen isomeeri merkitään yhdisteen nimeen joko tunnuksella (–), (l) tai (S), ja valoa myötäpäivään kääntävä optinen isomeeri vastaavasti tunnuksella (+), (d) tai (R). Optisia isomeerejä kutsutaan myös toistensa peilikuvaisomeereiksi tai enantiomeereiksi. Raseeminen seos sisältää kumpaakin enantiomeeriä yhtä paljon, jolloin optista aktiivisuutta ei enää havaita. Enantiomeerien fysikaaliset ominaisuudet, esimerkiksi sulamis- ja kiehumispisteet ovat samat, mutta niiden kemialliset ominaisuudet voivat vaihdella merkittävästi: tämä on otettava huomioon esimerkiksi lääkeaineiden kemiassa. Enantiomeerien lisäksi on myös olemassa diastereomeerejä, eli sellaisia stereoisomeerejä, jotka eivät ole toistensa peilikuvaisomeerejä.[38]

Molekyylien kolmiulotteisella muodolla ja avaruudellisella suuntautumisella on merkitystä myös sen suhteen, millaisen maku- tai hajuaistimuksen ne tuottavat. Kuten kuvassa 24 on esitetty, esimerkiksi sitrushedelmissä esiintyvän limoneenin eli 1-metyyli-4-prop-1-en-2-yylisyklohekseenin optinen isomeeri S-limoneeni tuoksuu sitruunalta, kun taas sen peilikuvaisomeeri R-limoneeni tuoksuu appelsiinilta. [38]

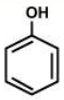


Kuva 24. *Sitruunalta tuoksuva S-limoneeni ja appelsiinilta tuoksuva R-limoneeni ovat toistensa peilikuvaisomeerejä eli enantiomeerejä.*[38]

5.4. Funktionaaliset ryhmät ja osoitusreaktiot

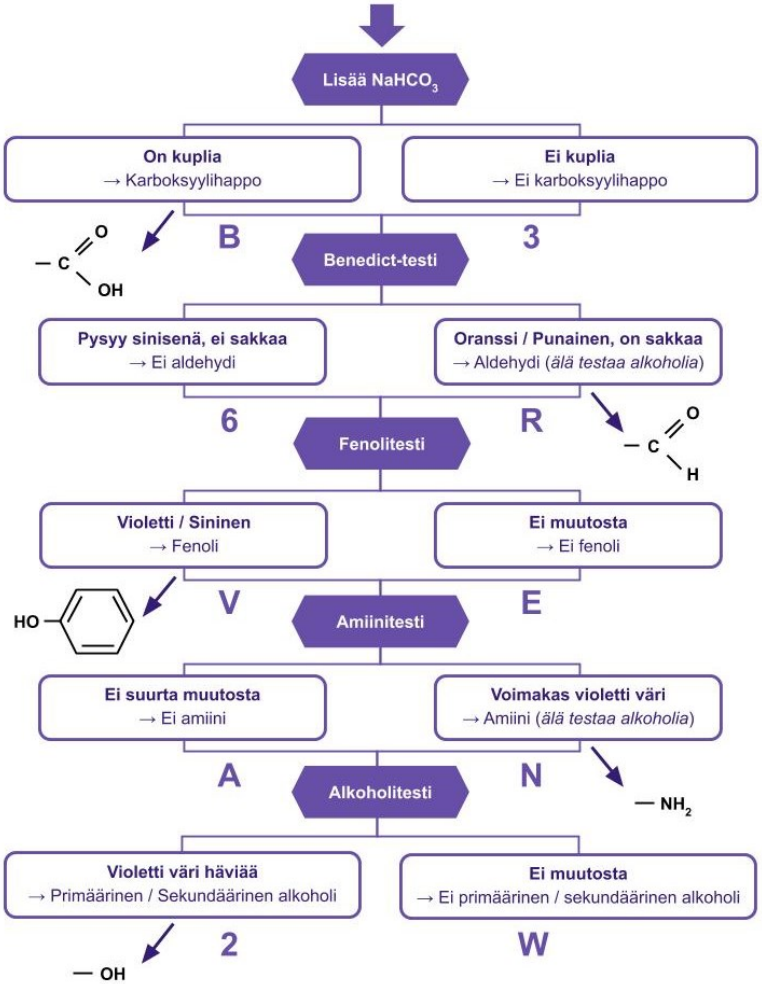
Orgaaniset yhdisteet voidaan luokitella erilaisiin yhdisteryhmiin niiden sisältämien funktionaalisten ryhmien avulla. Orgaanisen yhdisteen funktionaalinen ryhmä määräytyy sen perusteella, kuinka hiiliatomit ovat sitoutuneet toisiin hiiliatomeihin tai muihin atomeihin. Funktionaaliset ryhmät määrittelevät millaisia kemiallisia reaktioita sekä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia orgaanisilla yhdisteillä esiintyy. Funktionaalinen ryhmä vaikuttaa myös orgaanisten yhdisteiden nimeämiseen. Taulukossa 3 on esitetty lukion kemiassa yleisimmin käsiteltyjä orgaanisten yhdisteiden funktionaalisia ryhmiä, joista osaa on hyödynnetty myös pakopelin tehtävissä. [38]

Taulukko 3. *Lukion orgaanisten yhdisteiden kemiassa yleisimmin käsiteltyjä funktionaalisia ryhmiä rakennekaavoineen, nimineen ja nimeämisohjeineen.*[38]

Yhdisteryhmä	Funktionaalisen ryhmän rakenne	Funktionaalisen ryhmän nimi	Funktionaalisen ryhmän vaikutus nimeen
alkeeni	$>C=C<$	kaksoissidos	-eeni
alkyyni	$-C\equiv C-$	kolmoissidos	-yyni
aromaattinen		bentseenirengas	-bentseeni
alkoholi	$-OH$	hydroksyyli	-oli
fenoli		hydroksyyliryhmä kiinni bentseeni-renkaassa	-fenoli
aldehydi	$-C(=O)H$	aldehydi (karbonyyli)	-aali
ketoni	$>C=O$	keto (karbonyyli)	-oni
karboksyylihappo	$-C(=O)OH$	karboksyyli	-happo
esteri	$-C(=O)-O-$	esteri	-esteri -yyli + -aatti
eetteri	$-O-$	eetteri	-eetteri
amiini	$-NH_2$	amino	-amiini
aminohappo	$-NH_2$ $-COOH$	amino karboksyyli	-amino -happo
amidi	$-C(=O)-NH-$	amidi	-amidi

Orgaanisen yhdisteen sisältämät funktionaaliset ryhmät voidaan tunnistaa kvalitatiivisten osoitusreaktioiden avulla. Osoitusreaktioissa orgaanisten yhdisteiden sisältämän funktionaalisen ryhmän ja lisätyn reagenssin välinen reaktio voidaan havaita esimerkiksi värinmuutoksena tai sakan muodostumisena. Koska osoitusreaktiot ovat kvalitatiivisia eivätkä kvantitatiivisia, ne eivät kuitenkaan ole täysin tarkkoja ja niiden on tarkoitus toimia lähinnä suuntaa antavina arvioina orgaanisen yhdisteen tunnistamisessa. Hiilen yhdisteiden tunnistaminen funktionaalisten ryhmien osoitusreaktioilla on yksi lukion opetussuunnitelman KE3-moduulille suositelluista kokeellisista tutkimuksista.[4]

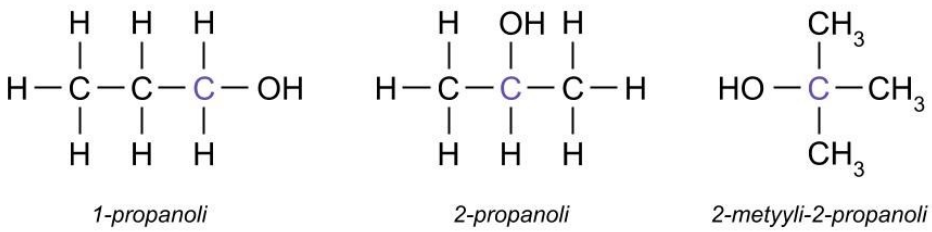
Suunnitellun kemian pakopelin tehtävä 2 sisältää kokeellisen työn, jossa oppilaat suorittavat joukon kvalitatiivisia osoitusreaktioita tuntemattomalle näytteelle. Oppilaiden tehtävänä on havainnoida tapahtuvia reaktiota ja päätellä niiden perusteella mitä funktionaalisia ryhmiä näytteessä esiintyy. Oppilailla on apunaan kuvan 25 mukainen osoitusreaktioiden kulkukaavio, joka löytyy yhdessä oppilaiden työohjeiden kanssa liitteistä 1 ja 2. Kokeellisen työn, sen ohjeiden ja kulkukaavion laatimisessa käytettiin mallina Walkerin (2012) laatimaa kokeellisen kemian työohjetta.[41]



Kuva 25. *Tutkimuksessa suunnitellun pakopelin tehtävässä 3 käytetty funktionaalisten ryhmien osoitusreaktioiden kulkukaavio: seuraamalla polkua tehtyjen havaintojen perusteella muodostuu seuraavassa pulmatehtävässä tarvittava koodi.*

5.4.1. Alkoholit

Alkoholit ovat happea sisältäviä orgaanisia yhdisteitä, joissa hydroksyyliryhmä on liittynyt hiiliatomiin yksinkertaisella kovalenttisella sidoksella. Hydroksyyliryhmien määrä yhdisteessä määrittelee sen, onko kyse yksiarvoisesta vai moniarvoisesta alkoholista, ja yhdisteen hiiliatomien välisten sidosten tyyppi puolestaan sen, onko alkoholi tyydyttynyt vai tyydyttämätön. Alkoholeja voidaan myös luokitella sen mukaan, kuinka monta hiiliatomia tai hiiliketjua on liittynyt hydroksyyliryhmää sitovaan hiiliatomiin: jos hydroksyyliryhmään sitoutuneeseen hiileen on liittynyt vain yksi toinen hiiliketju, kyseessä on primaarinen alkoholi. Mikäli hydroksyyliryhmään sitoutuneeseen hiileen on puolestaan liittynyt kaksi hiiliketjua, kyseessä on sekundaarinen alkoholi. Vastaavasti yhdistettä, jossa hydroksyyliryhmään sitoutuneeseen hiiliatomiin on liittynyt kolme muuta hiiliketjua, kutsutaan tertiääriseksi alkoholiksi. Kuvassa 26 on esitetty primaarisen, sekundaarisen ja tertiäärisen alkoholin rakenteet.[40]



Kuva 26. *Primaarisessa, sekundaarisessa ja tertiäärisessä alkoholissa hydroksyyliryhmään sitoutuneeseen hiiliatomiin on liittynyt eri määrä hiiliketjuja.*[40]

Alkoholeja käytetään monipuolisesti esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, polttoaineena, liuottimina sekä kosmetiikassa. Luonnossa alkoholeja esiintyy runsaasti mm. sokerien muodossa moniarvoisina eli polyalkoholeina.

Alkoholien osoitusreaktio

Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat alkoholien osoitusreaktion hydroksyyliryhmän läsnäolon tunnistamiseksi. Osoitusreaktiossa näytteeseen lisätään opettajan valmistamaa, rikkihapolla happamaksi tehtyä kaliumpermanganaattiliuosta ja lämmitetään koeputkea kuumalla vesihauteella parin minuutin ajan. Kaliumpermanganaatti on voimakas hapetin, joten mikäli näyte sisältää primaarista alkoholia reagoi se hapettumalla suoraan karboksyylihapoksi, ja vastaavasti sekundaarinen alkoholi ketoniksi. Reaktiossa muodostuu karboksyylihapon lisäksi myös vettä, kaliumsulfaattia ja mangaanisulfaattia. Reaktion aikana kaliumpermanganaatille tyypillinen violetti väri häviää ja muodostuu mahdollisesti myös ruskeaa sakkaa. Alkoholien osoitusreaktion reaktioyhtälö on esitetty kuvassa 27.[41,42]

$$5\ ROH\ (aq) + 4\ KMnO_4\ (aq) + 6\ H_2SO_4\ (aq) \rightarrow$$

primaarinen alkoholi — *kaliumpermanganaatti* — *rikkihappo*

violetti liuos

$$5\ RCOOH\ (aq) + 2\ K_2SO_4\ (aq) + 4\ MnSO_4\ (aq) + 11\ H_2O\ (l)$$

karboksyylihappo — *kaliumsulfaatti* — *mangaanisulfaatti* — *vesi*

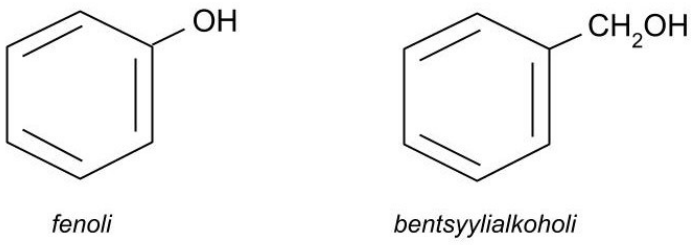
violetti väri häviää, ruskea sakka mahdollinen

Kuva 27. *Primaarin alkoholin osoitusreaktio happamaksi tehdyn kaliumpermanganaatin kanssa.*

Mikäli näytteen on jo havaittu sisältävän aldehydi- tai amiiniryhmän aiempien osoitusreaktioiden perusteella, tulee alkoholin osoitusreaktio jättää välistä väärän positiivisen tuloksen välttämiseksi.[41]

5.4.2. Fenolit

Fenolit ovat orgaanisia yhdisteitä, joissa yksi tai useampia hydroksyyliryhmiä on liittynyt suoraan bentseenirenkaan hiiliatomeihin. Fenolit sisältävät bentseenirenkaan, joten ne ovat aromaattisia yhdisteitä, mutta eivät kuitenkaan ole aromaattisia alkoholeja: aromaattinen alkoholi muodostuu, kun hydroksyyliryhmän sisältävään hiiliketjuun on kiinnittynyt myös bentseenirengas. Kuvassa 28 on esitetty ero fenolin ja aromaattisen alkoholin välillä.[40]



Kuva 28. *Fenolissa hydroksyyliryhmä on liittynyt suoraan bentseenirenkaaseen, kun taas aromaattisessa alkoholissa hydroksyyliryhmän sisältävään hiiliketjuun on liittynyt myös bentseenirengas.*[40]

Fenoleja käytetään teollisuudessa esimerkiksi liuottimina ja maalinpoistajina. Fenoleja käytetään EU:n ulkopuolella myös kosmetiikassa esimerkiksi hiusväreissä ja aurinkorasvoissa.

Fenolien osoitusreaktio

Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat osoitusreaktion fenolien tunnistamiseksi. Osoitusreaktiossa näytteeseen lisätään muutama tippa rauta(III)sulfaattia $Fe_2(SO_4)_3$. Mikäli näyte sisältää fenolin, reagoi se rauta(III)sulfaatin kanssa muodostaen rauta(III)kompleksiyhdisteen, jonka anioni on väriltään

sininen tai violetti, sekä rikkihappoa. Fenolien osoitusreaktio voidaan suorittaa myös rauta(III)kloridin $FeCl_3$ kanssa, jolloin sivutuotteena muodostuu suolahappoa. Oletettavasti tästä syystä kokeellisen työn pohjana käytetyssä työohjeessa oli valittu reaktiossa käytettäväksi rauta(III)kloridin sijaan rauta(III)sulfaattia. Kuvassa 29 on esitetty fenolien osoitusreaktio.[41,42]

$$12\ PhOH\ (aq) + Fe_2(SO_4)_3\ (aq) \rightarrow 2\ H_3[Fe(PhO)_6]\ (aq) + 3\ H_2SO_4\ (aq)$$

fenoli *rauta(III)sulfaatti* *rauta(III)kompleksi* *rikkihappo*

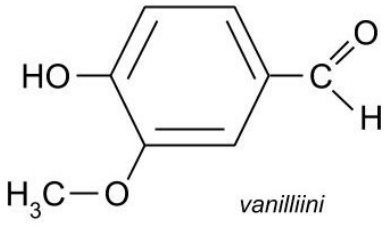
violetti / sininen

Kuva 29. *Fenolien osoitusreaktio rauta(III)sulfaatin kanssa.*

5.4.3. Aldehydit

Aldehydit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka sisältävät hiiliketjun päähän sitoutuneen karbonyyliryhmän, jossa happiatomi on sitoutunut hiiliatomiin kaksoissidoksen avulla: aldehydiryhmään sitoutuneeseen hiiliatomiin on siis liittynyt vain yksi hiiliketju. Mikäli karbonyyliryhmään sitoutuneeseen hiiliatomiin on liittynyt kaksi hiiliketjua, kyseessä on ketoni. Aromaattisten aldehydien hiiliketjuun on lisäksi sitoutunut bentseenirengas. Aldehydit ovat primaaristen alkoholien hapettumistuotteita, jotka hapettuvat edelleen karboksyylihapoiksi orgaanisten yhdisteiden hapettumisreaktiossa.[40]

Luonnossa aldehydejä esiintyy mm. eteerisissä öljyissä ja niiden ominaistuoksut ovat tuttuja monista mausteista ja yrteistä, esimerkiksi vanilliini ja kanelialdehydi. Aldehydejä käytetäänkin paljon elintarviketeollisuudessa haju- ja makuaineina, sekä kosmetiikka- ja hajuvesiteollisuudessa. Kuvassa 30 on esitetty vanilliinin rakenne.



Kuva 30. *Monia aromaattisia aldehydejä, kuten vanilliinia, käytetään haju- ja makuaineina.*

Aldehydien osoitusreaktio

Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat ns. Benedictin reaktion aldehydien tunnistamiseksi. Tässä osoitusreaktiossa näytteeseen lisätään opettajan etukäteen valmistamaa sinistä Benedictin reagenssia ja

liuosta lämmitetään kiehuvassa vesihauteessa noin minuutin ajan. Mikäli näyte sisältää aldehydiä, muodostuu voimakkaan tiilenpunainen sakka, joka sisältää karboksylaattianioneita, kuparioksidia ja vettä. Kuvassa 31 on esitetty sekä Benedictin reagenssin muodostamisreaktio, että varsinainen tehtävässä 2 testattava aldehydien osoitusreaktio.[41,42]

Benedictin reagenssi

$$CuSO_4 \cdot 5\,H_2O\,(s) + Na_2CO_3\,(s) + Na_3C_6H_5O_7\,(aq) \rightarrow \textbf{\textit{Benedictin reagenssi}}$$

kidevedellinen kuparisulfaatti — *natriumkarbonaatti* — *trinatriumsitraatti*

Aldehydien osoitusreaktio

$$RCHO\,(aq) + 2\,Cu^{2+}\,(aq) + 5\,OH^-\,(aq) \rightarrow RCOO^-\,(aq) + Cu_2O\,(s) + 3\,H_2O\,(l)$$

aldehydi — *Benedictin reagenssi* — *karboksylaatti-anioni* — *kuparioksidi* — *vesi*

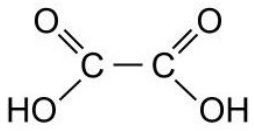
sininen liuos — **tiilenpunainen sakka**

Kuva 31. *Aldehydien osoitusreaktio suoritetaan Benedictin reagenssin avulla.*

Mikäli aldehydien osoitusreaktiosta saadaan positiivinen tulos, tulee alkoholien osoitusreaktio jättää väliin väärän positiivisen välttämiseksi.[41]

5.4.4. Karboksyylihapot

Karboksyylihapot ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka sisältävät karboksyyliryhmän, joka koostuu karbonyyliryhmästä ja hydroksyyliryhmästä. Karboksyylihappoja voidaan luokitella edelleen karboksyyliryhmien määrän tai niihin liittyneen hiiliketjun sisältämien funktionaalisten ryhmien perusteella. Mikäli yhdisteessä on yksi karboksyyliryhmä, kyseessä on monokarboksyylihappo; jos karboksyyliryhmiä on kaksi, puhutaan dikarboksyylihaposta (kuva 32). Jos karboksyyliryhmään sitoutuneeseen hiiliketjuun kuuluu bentseenirengas, on kyseessä aromaattinen karboksyylihappo. Mikäli yhdiste sisältää karboksyyliryhmän lisäksi myös hydroksyyliryhmän, puhutaan hydroksihapoista. Vastaavasti karboksyyliryhmän lisäksi aminoryhmän sisältäviä yhdisteitä kutsutaan aminohapoiksi. Rasvahapot ovat puolestaan karboksyylihappoja, joilla on pitkä hiiliketju: mikäli hiiliketju sisältää vain yksinkertaisia hiiliatomien välisiä sidoksia on kyseessä tyydyttynyt rasvahappo, ja mikäli hiiliketjussa on kaksoissidoksia, kyseessä on tyydyttämätön rasvahappo.[40]



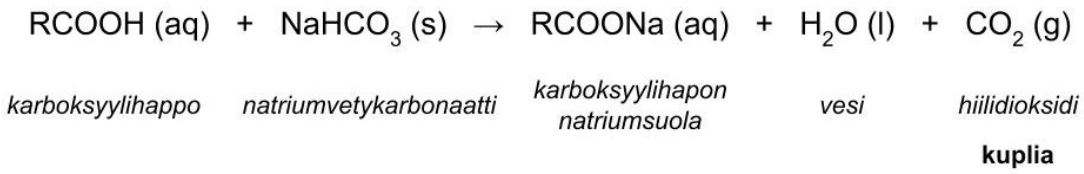
oksaalihappo

Kuva 32. *Raparperista ja pinaatista löytyvä oksaalihappo sisältää kaksi karboksyyliryhmää.*

Karboksyylihappoja esiintyy runsaasti luonnossa sekä karboksyylihappoina, rasvahappoina että aminohappoina. Happamuutensa vuoksi karboksyylihappoja hyödynnetään elintarviketeollisuudessa mm. säilöntäaineina ja lisäaineiden tuotannossa. Lisäksi karboksyylihappoja hyödynnetään esimerkiksi lääketeollisuudessa sekä liuottimien ja muovien tuotannossa.

Karboksyylihappojen osoitusreaktio

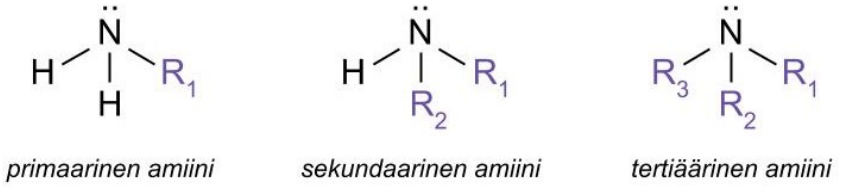
Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat osoitusreaktion karboksyyliryhmän tunnistamiseksi. Tässä osoitusreaktiossa näytteeseen lisätään opettajan valmistamaa kylläistä natriumvetykarbonaattiliuosta. Mikäli näyte sisältää karboksyyliryhmän, voidaan koeputkessa havaita kuplintaa karboksyylihapon reagoidessa natriumvetykarbonaatin kanssa muodostaen hiilidioksidia, karboksyylihapon natriumsuolaa ja vettä. Kuvassa 33 on esitetty karboksyylihappojen osoitusreaktio. [41,42]



Kuva 33. *Karboksyylihappojen osoitusreaktio natriumvetykarbonaatin kanssa.*

5.4.5. Amiinit

Amiinit ovat typpeä sisältäviä orgaanisia yhdisteitä, joissa typpiatomiin on liittynyt yksi, kaksi tai kolme hiiliketjua yksinkertaisella kovalenttisella sidoksella: typpiatomilla on viisi ulkoelektronia, joista se voi jakaa kolme hiili- tai vetyatomien kanssa siten, että sille jää vielä yksi vapaa elektronipari. Mikäli typpiatomiin on liittynyt yksi hiiliketju, kyseessä on primaarinen amiini. Jos typpiatomiin on liittynyt kaksi hiiliketjua, kyseessä on sekundaarinen amiini. Mikäli typpiatomiin on liittynyt kolme hiiliketjua, kyseessä on tertiäärinen amiini. Amiinien rakenne muistuttaa hieman ammoniakin rakennetta, jossa typpiatomiin on sitoutunut kolme vetyatomia ja typellä on lisäksi yksi vapaa elektronipari. Mikäli typpiatomiin on liittynyt hiiliketju, joka sisältää bentseenirenkaan, kyseessä on aromaattinen amiini. Kuvassa 34 on esitetty primaarisen, sekundaarisen ja tertiäärisen amiinin rakenteet.[40]

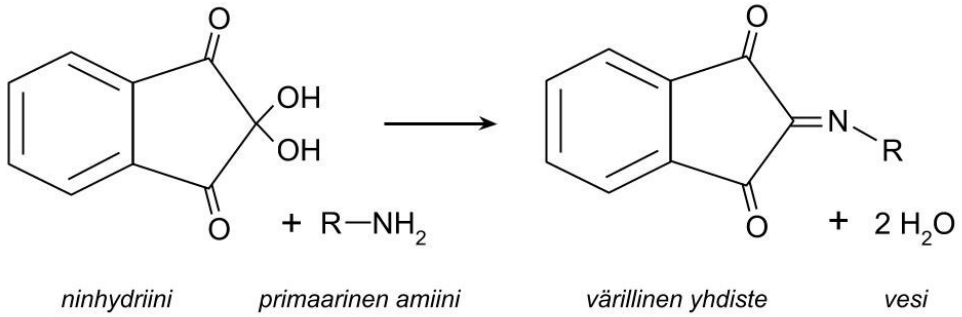


Kuva 34. *Primaariseen, sekundaariseen ja tertiääriseen amiiniin on liittynyt eri määrä hiiliketjuja.*[40]

Amiineja hyödynnetään mm. väriaineina, lääketeollisuudessa sekä erilaisten haitallisten kaasujen suodatusjärjestelmissä.

Amiinien osoitusreaktio

Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat osoitusreaktion amiiniryhmän tunnistamiseksi. Tässä osoitusreaktiossa näytteeseen lisätään muutama tippa ninhydriiniliuosta. Mikäli näyte sisältää amiiniryhmän, reagoi amiiniryhmä ninhydriinin (2,2-dihydroksindaani-1,3-dioni) kanssa muodostaen väriltään voimakkaan violetin kompleksin. Kuvassa 35 on esitetty amiinien osoitusreaktio.[41]



Kuva 35. *Amiinien osoitusreaktiona voidaan käyttää reaktiota ninhydriinin kanssa.*

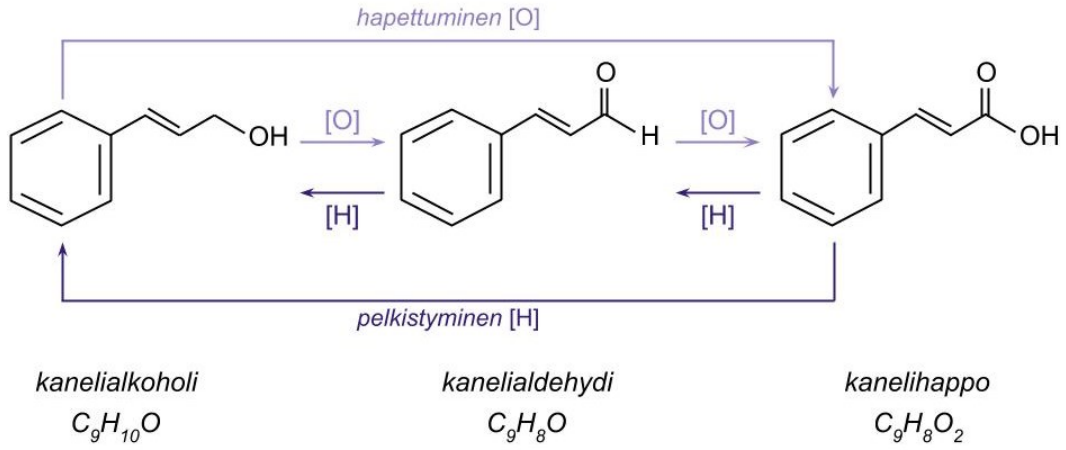
Mikäli amiinien osoitusreaktio on positiivinen, tulee alkoholien osoitusreaktio jättää väliin väärän positiivisen tuloksen välttämiseksi.

5.5. Happiyhdisteiden hapettumis- ja pelkistymisreaktiot

Hapettumis- ja pelkistymisreaktioita tarkastellaan yleensä kemiassa elektroninsiirtoreaktioina, joissa hapettuva aine luovuttaa elektroneja ja pelkistyvä aine vastaanottaa elektroneja. Orgaanisissa yhdisteissä atomien välillä on kovalenttisia sidoksia, joten elektronit eivät täysin siirry atomilta toiselle: tästä syystä orgaanisten yhdisteiden hapettumis- ja pelkistymisreaktioita voidaan tarkastella elektronien siirtymisen sijaan yhdisteen sisältämien happi- tai vetyatomien määrän muutoksen kautta: hapettumisessa yhdisteen sisältämien happiatomien määrä kasvaa tai vetyatomien määrä vähenee. Hapettuminen voi tapahtua esimerkiksi ilman sisältämän hapen tai hapettimena toimivan, runsaasti

happiatomeja sisältävän yhdisteen ansiosta. Vastaavasti pelkistymisessä orgaanisen yhdisteen sisältämien happiatomien määrä vähenee tai vetyatomien määrä kasvaa.[39]

Primaarisen alkoholin hapettuessa aldehydiksi hiiliatomiin liittynyt hydroksyyliryhmä luovuttaa vetyatominsa ja happiatomi muodostaa kaksoissidoksen hiiliatomiin, joka luovuttaa myös yhden vetyatomeistaan: vetyjen määrä yhdisteessä vähenee ja muodostuu aldehydin karbonyyliryhmä. Aldehydin hapettuessa edelleen karboksyylihapoksi karbonyyliryhmään ja vetyatomiin sitoutuneeseen hiileen liittyy happiatomi, joka muodostaa vetyatomin kanssa hydroksyyliryhmän: yhdisteen sisältämien happiatomien määrä kasvaa ja muodostuu karboksyyliryhmä. Vastaavasti karboksyyliryhmän pelkistyessä aldehydiksi happiatomien määrä vähenee, ja aldehydin pelkistyessä primaariksi alkoholiksi vetyatomien määrä kasvaa. Vahvoja hapettimia käyttämällä yhdiste voidaan saada myös hapettumaan suoraan primaarista alkoholista karboksyylihapoksi, ja vastaavasti vahvojen pelkistimien avulla pelkistymään suoraan karboksyylihaposta primaariksi alkoholiksi. Kuvassa 36 on esitetty esimerkkinä kanelialkoholin ((2E)-3-fenyyliprop-2-en-1-oli) hapettumisreaktio kanelialdehydiksi ((2E)-3-fenyyliprop-2-enaali) ja edelleen kanelihapoksi ((2E)-3-fenyyliprop-2-eenihappo), sekä näiden vastakkaiset pelkistymisreaktiot. [39]



Kuva 36. *Kanelialkoholi hapettuu kanelialdehydiksi ja siitä edelleen kanelihapoksi, tai vahvan hapettimen vaikutuksesta suoraan kanelialkoholista kanelihapoksi.*

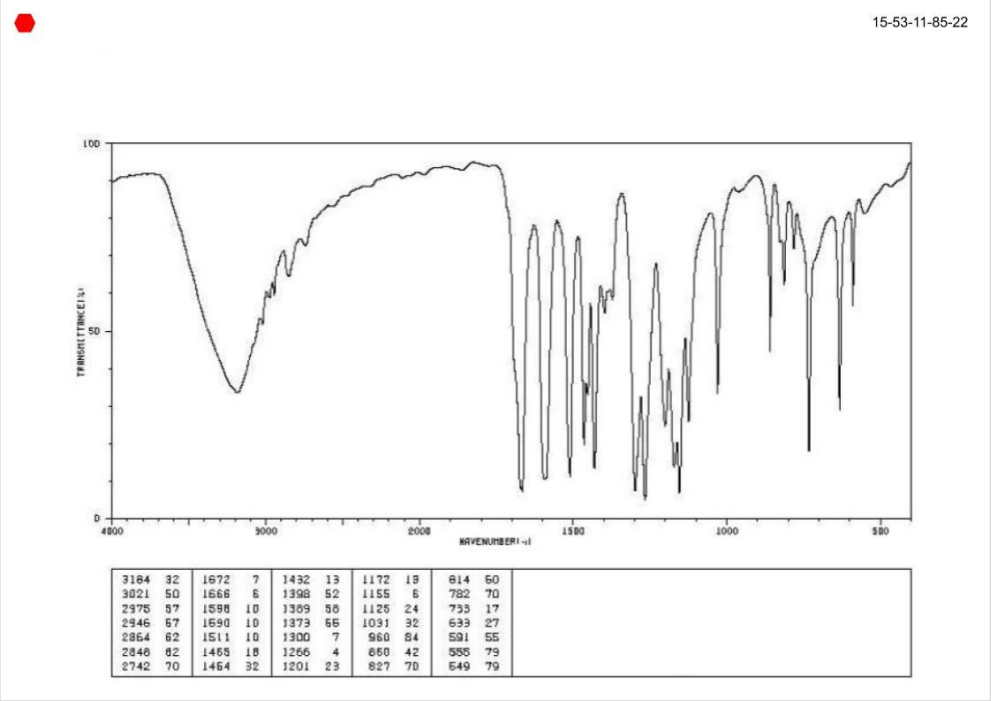
Sekundaariset alkoholit eivät hapetu kahdessa vaiheessa, vaan niissä kahteen hiiliketjuun liittyneen hiiliatomin sisältämä hydroksyyliryhmä hapettuu suoraan ketoryhmäksi. Tertiääriset alkoholit eivät puolestaan hapetu ollenkaan, sillä niissä kolmeen hiiliketjuun ja hydroksyyliryhmään sitoutuneeseen hiiliatomiin ei ole liittynyt yhtään vetyatomia, joka voisi irrota hapettumisreaktion aikana.[39]

5.6. IR-spektroskopia

Infrapunaspektroskopia eli IR-spektroskopia on orgaanisessa ja analyyttisessa kemiassa usein käytetty analyysimenetelmä, jolla voidaan saada tietoa aineen rakenteesta. IR-spektroskopia perustuu

orgaanisten yhdisteiden kykyyn absorboida infrapunasäteilyä: näytteen läpi johdettu sähkömagneettinen säteily absorboituu yhdisteeseen ja saa sen kovalenttisissa sidoksissa aikaan kullekin sidokselle tyypillisiä sidosvenytyksiä ja -värähtelyitä. Näiden värähdysten perusteella voidaan jokaiselle yhdisteelle mitata sille tunnusomainen IR-spektri, jota analysoimalla yhdisteen sisältämät funktionaaliset ryhmät voidaan tunnistaa. Sidoksiin absorboituneen säteilyn aallonpituus voidaan lukea IR-spektristä aaltolukuna alaspäin suuntautuneiden piikkien kohdalta: pieni aaltoluku (cm^{-1}) vastaa infrapunasäteilyn suurta aallonpituutta ja suuri aaltoluku pientä aallonpituutta. IR-spektrin tulkinnassa kiinnitetään huomiota etenkin absorptiopiikin sijaintiin, muotoon sekä intensiteettiin eli piikin pituuteen: näiden avulla voidaan päätellä, mikä funktionaalinen ryhmä on kyseessä. [39,43]

Tehtävässä 3 oppilaat analysoivat useiden orgaanisten yhdisteiden IR-spektrejä tunnistaakseen niissä esiintyvät funktionaaliset ryhmät, IR-spektrien tulkintaan käytetään MAOL-taulukkokirjasta löytyvää ”Spektrien tulkinta” -osiota.[44] Ensin IR-spektristä tunnistetaan merkittävät piikit, jonka jälkeen niiden muotoa ja intensiteettiä analysoidaan ja kullekin piikille etsitään sitä vastaava aaltoluku taulukosta. Lopuksi aaltolukua vastaavien funktionaalisten ryhmien perusteella oppilaat pystyvät yhdistämään kunkin IR-spektrin valmiiksi annettuihin orgaanisten yhdisteiden nimiin ja erottamaan joukosta oman näytteensä spektrin. Kuvassa 37 on yksi esimerkki tehtävässä 3 hyödynnetystä vanilliinin IR-spektristä: spektristä on poistettu yhdisteen rakennekaava, nimi ja muut tunnistettavat tiedot. Lisäksi spektrin yläreunaan on lisätty numerokoodi, joka toimii vihjeenä seuraavaan tehtävään, sekä väritäplä, joka kertoo minkä joukkueen spektristä on kyse. Tehtävässä käytetyt IR-spektrit on noudettu SDBS-spektritietokannasta.[43-45]



Kuva 37. *Tehtävässä 3 käytettävä vanilliinin IR-spektri, joka oppilaiden tulee osata yhdistää nimilappuun tunnistamalla spektristä yhdisteen keskeisimmät funktionaaliset ryhmät.*

6. Maukas mysteeri – pakopeli orgaanisen kemian opetukseen

6.1. Suunnittelun reunaehdot

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, kuinka pedagogiset pakopelit soveltuvat kemian opetusmenetelmäksi. Tutkimuksen kokeellisessa osassa oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa lukion orgaanisten yhdisteiden kemiaan keskittyvä kemian pedagoginen pakopeli, jota testattaisiin kemian opettajaopiskelijoilla ja pelautettaisiin mahdollisuuksien mukaan myös lukiolaisilla kouluyhteistyökurssin yhteydessä. Tutkimuksen alussa päätettiin teettää lyhyt alustava kysely kemian opettajaopiskelijoille, jossa selvitettiin heidän aiempia kokemuksiaan pakohuonepeleistä, pyydettiin arvioimaan pakohuonepelejä kemian opetusmenetelmänä ja kertomaan hyödyntäisivätkö he itse pakohuonepelejä opetusmenetelmänä kemian opetuksessa. Alustava kysely löytyy liitteestä 3.

Kyselyyn vastasi yhteensä 13 kemian aineenopettajaopiskelijaa Itä-Suomen yliopistosta, jotka olivat lähes kaikki opinnoissaan sellaisessa vaiheessa, että heillä oli takanaan jo useita harjoittelujaksoja ja osalla myös opettajan sijaisuuksia. Vastanneilta voisi olettaa löytyvän siis jo jonkin verran käytännön kokemusta kemian opetuksesta, koulun arjesta ja käytössä olevista resursseista. Pakopelit olivat ennestään tuttuja yli puolelle kyselyyn vastanneista kemian opettajaopiskelijoista joko kaupallisten pakohuonepelien tai pakohuoneteemaisten video- ja lautapelien kautta. Vastauksissa toistuivat samat teemat: pakopelejä pidettiin mielenkiintoisena ja niissä nähtiin potentiaalia erityisesti oppilaiden motivoimiseen sekä kemian oppisisältöjen sitomiseen osaksi jokapäiväisen elämän konteksteja ja monialaisia kokonaisuuksia, mutta toisaalta pakopelien suunnitteluun ja toteuttamiseen tarvittavaa työmäärää pidettiin liian suurena. Myös ryhmäkokoihin, tiloihin ja ajankäyttöön liittyvät huolet toistuivat vastauksissa. Muutamassa vastauksessa epäiltiin myös opiskelijoiden pakopelistä saamaa hyötyä: pakopelin ei ajateltu hyödyttävän kemian ylioppilaskokeisiin valmistautumisessa. Moni opettajaopiskelija vastasi kuitenkin olevansa kiinnostunut kokeilemaan pedagogista pakopeliä kemian opetuksessa, mikäli saatavilla olisi valmista materiaalia pakopelin toteuttamiseen.

Kyselyyn vastanneiden kemian opettajaopiskelijoiden näkemykset heijastelivat pitkälti lähdekirjallisuudessa mainittuja pedagogisiin pakopeleihin sekä yleisemmin oppimispeleihin ja niiden hyödyntämiseen liittyviä huolenaiheita ja käytännön haasteita. Suurimpina haasteina pedagogisten pakopelien hyödyntämiselle pidetään yleensä niiden suunnitteluun ja toteutukseen vaadittavaa aikaa ja työmäärää, oppilaitosten tarjoamien taloudellisten resurssien vähäisyyttä, sekä oppilasryhmien suurta kokoa, mikä aiheuttaa myös aikataulutuksellisia haasteita pedagogisten pakopelien järjestämiselle. Myös oppilaita motivoivan ja juoneltaan kiinnostavan pakopelin sekä sisällöltään kemian opetukseen soveltuvien pulmatehtävien laatiminen itse alusta lähtien on koettu haastavaksi. Näitä pedagogisten pakopelien toteutukseen liittyviä keskeisiä haasteita on koottu kuvaan 38.[2,3,6,30]

***Kuva 38**: Kemian pedagogisten pakopelien hyödyntämisen keskeisiksi haasteiksi määriteltiin opetusryhmien suuret koot, opetusaikataulujen tiukkuus, käytettävissä olevien tilojen ja resurssien vähäisyys, pedagogisen pakopelin suunnittelun työmäärä ja siihen kuluva aika, sekä pulmatehtävien kemian sisällön suunnittelu.*

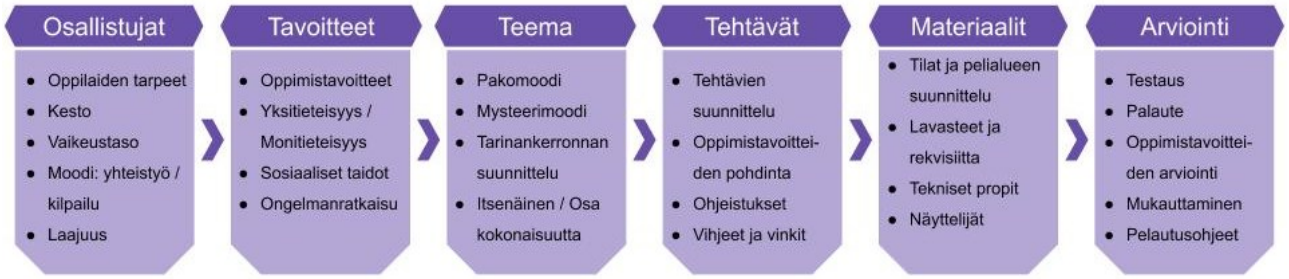
Jotta pedagogisia pakopelejä voidaan hyödyntää aiempaa monipuolisemmin ja laajemmin kemian opetuksessa, on nämä käytännön toteuttamiseen ja suunnitteluun liittyvät haasteet otettava huomioon. Tämän tutkimuksen tavoitteeksi tarkentui sen tarkastelu, kuinka näihin kemian pedagogisten pakopelien hyödyntämisen käytännön haasteisiin voidaan löytää ratkaisuja pedagogisen pakopelin huolellisen suunnitteluprosessin kautta. Edellä mainitut konkreettiset ryhmäkokoihin, aikatauluihin, tiloihin ja resursseihin liittyvät haasteet pyrittiin ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon lukion orgaanisten yhdisteiden kemiaan soveltuvaa pakopeliä suunniteltaessa: pakopelistä haluttiin suunnitella sellainen, että sen voisi pelauttaa tavanomaisen kokoiselle kemian oppilasryhmälle (yleensä 20-30 oppilasta) varustelultaan hyvin tavanomaisessa kemian luokassa korkeintaan kahden 45 minuutin oppitunnin aikana mahdollisimman vähillä resursseilla. Pedagogisen pakopelin suunnittelun kuormittavuutta ja kemian pulmatehtävien suunnittelun haasteellisuutta pyrittiin lieventämään laatimalla kemian opettajien käyttöön tai suunnittelun malliksi valmis kemian pakopelin materiaalipaketti, jonka avulla kynnys pedagogisten pakopelien kokeilemiseen ja hyödyntämiseen kemian opetuksessa toivon mukaan alentuisi hieman. Lisäksi luotiin esimerkki kemian opetukseen soveltuvan pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessista, jota on mahdollista käyttää kemian oppimispakopelien suunnittelun, valmistelun ja toteutuksen mallina. Kuvaan 39 on koottu alustavan kyselyn ja lähdekirjallisuuden perusteella kemian pedagogiselle pakopelille ja sen suunnittelulle määritellyt reunaehdot.

***Kuva 39**: Kemian pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessia ohjaamaan koottiin reunaehdot, joiden avulla pedagogisten pakopelien yleisimpiin käytännön haasteisiin yritetään löytää ratkaisuja.*

6.2. Pedagogisen pakopelin suunnittelu

Pedagogisen pakopelin suunnittelu etenee muuten hyvin samaan tapaan kuin minkä tahansa pakopelin suunnittelu, mutta tavanomaisten pakopelielementtien lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon muutamia koulumaailmalle tyypillisiä erityispiirteitä ja -tarpeita. Toisin kuin kaupallisiin pakopeleihin, oppimispakopeleihin sisältyy aina selkeä oppimistavoite, joka tulee huomioida mm. pakopelin pulmatehtäviä ja juonta suunniteltaessa. Lisäksi tulee huomioida, että pedagogisilla pakopeleillä ei yleensä ole käytettävissään samanlaisia resursseja esimerkiksi tilan, lavasteiden tai teknisten vimpaimien suhteen kuin kaupallisilla pakopeleillä. Myös pakopelin suunnitteluun ja toteutukseen käytettävissä oleva aika ja oppilasryhmien koko asettavat omat uniikit haasteensa pedagogisen pakopelin suunnittelulle.[6,15,27]

Tämän tutkimuksen yhteydessä konseptoidun kemian pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessi eteni suurimmaksi osaksi kuvassa 40 esitellyn, pelipohjaista oppimista ja oppimispelien suunnittelun teoriaa yhdistelevän *escapED* -viitekehyksen mukaisesti.[16,17] Viitekehyksessä pedagogisten pakopelien suunnitteluprosessi on jaettu kuuteen eri vaiheeseen: osallistujiin, tavoitteisiin, teemaan, tehtäviin, materiaaleihin ja arviointiin.[16,17]



Kuva 40. *Kemian pedagogisen pakopelin suunnittelun apuvälineenä käytettiin escapED-viitekehystä, joka kuvaa yhtä mahdollista tapaa, jolla pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessi voi edetä.*[16,17]

Viitekehyksen ensimmäisessä vaiheessa keskitytään pohtimaan pedagogisen pakopelin viitekehystä sen osallistujien tai kohderyhmän eli oppilaiden näkökulmasta. Esimerkiksi oppilaiden aiemmat kemian pohjatiedot ja -taidot, ikä sekä mahdolliset esteettömyys- ja erityisen tuen tarpeet tulisi huomioida jo heti suunnittelun alussa. Kohderyhmän tarpeita pohtimalla voidaan pedagogiselle pakopelille määrittää sopiva vaikeustaso. Pakopelin moodiksi valitaan viitekehyksessä joko joukkueiden välistä kilpailua tai joukkueiden välistä yhteistyötä painottava moodi. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa määritellään pakopelin kesto ja laajuus sen perusteella, kuinka paljon aikaa on käytettävissä per joukkue ja kuinka monta pelaajaa yhdessä joukkueessa on.[16,17]

EscapED -viitekehyksen seuraavassa vaiheessa määritellään pedagogisen pakopelin oppimistavoitteet. Oppimistavoitteet on hyvä valita jo heti pelisuunnittelun alkuvaiheessa, jotta ne voidaan sisällyttää mahdollisimman hyvin pakopelin teemaan, juoneen ja pulmatehtäviin. Valittuun oppiaineeseen liittyvien oppimistavoitteiden lisäksi pedagogiseen pakopeliin voidaan sisällyttää myös esi-

merkiksi sosiaalisia taitoja, kuten yhteistyötaitoja, ryhmätyöskentelyä tai vuorovaikutusta, sekä luovaa ongelmanratkaisua kehittäviä oppimistavoitteita. Viitekehyksen kehittäjien mukaan monipuolisten haasteiden ja pulmatehtävien avulla oppimispakopeli soveltuu monille erilaisille oppijoille ja kannustaa kaikkia joukkueen jäseniä osallistumaan pakopeliin. Tässä suunnitteluvaiheessa kannattaa kartoittaa myös mahdollisuuksia monitieteisen, useita oppiaineita yhdistävän pakopelin toteuttamiseen tai muuhun yhteistyöhön muiden opettajien kanssa.[16,17]

Viitekehyksen kolmannessa vaiheessa valitaan pedagogisen pakopelin teema ja suunnitellaan sen keskeiset narratiiviset elementit. Viitekehys ehdottaa teemallisiksi vaihtoehdoiksi kahta moodia: pakomoodia, jossa pelaajien täytyy paeta lukitusta tilasta tietyn ajan kuluessa, ja mysteeriä, jossa pelaajien tulee selvittää annettu mysteeri tietyn ajan kuluessa. Nämä moodit tarjoavat yksinkertaisen pohjan pedagogisen pakopelin juonelle, mutta myös muut teemat ja moodit ovat mahdollisia. Kun teema on valittu, kehitetään pedagogiselle pakopelille oppilaisiin mahdollisimman hyvin vetoava ja kiinnostusta herättävä juoni. Tässä vaiheessa voi pohtia myös sitä, onko pakopeli oma yksittäinen tapahtumansa, vai osa jonkinlaista laajempaa tai jatkuvaa oppimiskokonaisuutta, esimerkiksi osa monialaisten oppimiskokonaisuuksien (MOK) päivää.[16,17]

Neljännessä vaiheessa suunnitellaan pedagogisen pakopelin oppimistavoitteisiin sopivat pulmatehtävät, niiden ohjeistukset sekä vinkit. Tehtävien tulisi tukea pelin oppimistavoitteita, mutta olla samalla myös kiinnostavia pelaajille. Tehtävien tueksi kannattaa oppimispakopeliin sisällyttää mahdollisimman selkeitä vihjeitä ja ohjeistuksia oppilaille. Tässä vaiheessa kannattaa miettiä myös sitä, kuinka opettaja voi ohjeistaa ja antaa vinkkejä oppilaille itse pakopelin aikana ilman, että pelaajien virtauskokemus tai immersio häiriintyvät liikaa. [16,17]

Viidennessä *escapED*-viitekehyksen vaiheessa keskitytään pedagogisessa pakopelissä tarvittavien materiaalien ja tilojen suunnitteluun, valmistamiseen ja hankintaan. Pedagogisissa pakopeleissä pelialueena toimii usein luokkahuone, mutta myös muita tilamahdollisuuksia kannattaa kartoittaa: tärkeintä on, että pelialue on tarpeeksi tilava ja muuten pelikäyttöön soveltuva. Teemaan sopivia lavasteita, rekvisiittaa ja teknisiä vimpaimia voi hankkia joko valmiina tai valmistaa itse ajan ja resurssien puitteissa, mutta niiden todellinen tarve ja käytettävyys pakopelin kannalta kannattaa harkita tarkkaan. Yhteistyö muiden opettajien tai esimerkiksi opettajaopiskelijoiden kanssa voi mahdollistaa myös näyttelijöiden ja NPC-hahmojen käytön pakopelissä.[16,17]

EscapED-viitekehyksen viimeisenä vaiheena on arviointi, jossa suunniteltua pedagogista pakopeliä testataan ennen käyttöönottoa. Testauksen jälkeen on tärkeää pohtia testipelaajien kanssa pakopelin sisältöä, pelattavuutta ja mahdollisia ongelmakohtia. Erityisesti oppimistavoitteiden toteutumiseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Testauksesta saadun palautteen perusteella suunniteltua pakopeliä voidaan vielä muokata ja mahdollisesti testauttaa uudelleen. Lopuksi luodaan pelautusohjeet, joihin on koottu kaikki pakopelin sisältämät tehtävät vihjeineen ja ratkaisuineen, sekä tarkistuslista, jonka avulla varmistetaan, että kaikki esineet ja vihjeet ovat oikeilla paikoillaan ennen pelin alkua. [16,17]

Kemian pakopelin suunnittelussa hyödynnettiin suurimmaksi osaksi *escapED* -viitekehystä, mutta viitekehyksestä poiketen pakopelin tilatarpeita pohdittiin jo heti suunnittelun alussa. Viitekehyksessä ei myöskään mainittu suoraan, missä vaiheessa pedagogisen pakopelin rakenne tulisi suunnitella, mutta koska se liittyy olennaisesti mm. ryhmäkokoihin ja pelin kestoon, aloitettiin kemian pakopelin rakenteen suunnittelu jo heti ensimmäisessä vaiheessa. *EscapED* -viitekehyksen lisäksi tämän tutkimuksen sisältämän kemian pakopelin suunnittelussa käytettiin apuna Koirasen oppaassaan jakamia ohjeita pedagogisen pakopelin suunnitteluun: alustavien pelisuunnittelua rajoittavien tekijöiden (tilat, resurssit, aika, ryhmäkoko) määrittelyn jälkeen luotiin alustava rakenne ja tehtävät pakopelille. Tämän alustavan suunnitelman annettiin hautua useamman viikon ajan ennen kuin sitä ryhdyttiin hiomaan ja testaamaan.[6] Materiaalien tuottamista tehtiin osittain yhtä aikaa testauksen ja pakopelin hiomisen kanssa. Vaikka varsinaisen valmiin pakopelin testaaminen ei ollut mahdollista, pyrittiin yksittäisiä pulmatehtäviä testaamaan pahaa-aavistamattomilla tuttavilla, jotka olivat opiskelleet luonnontieteitä, mutta joilla ei ollut takanaan kemian opintoja. Sekä pedagogisten että muiden pakopelien suunnitteluun on käytetty myös monenlaisia muita prosesseja ja viitekehyksiä, tässä on esitelty vain yksi mahdollinen lähestymistapa. [5,6,16,17,27]

6.2.1. Pelin kohderyhmä, viitekehys ja resurssit

Opetuskäyttöön suunnitellulla pakopelillä harvoin on käytössään samanlaisia resursseja tai pysyvästi pakopeliä varten omistettuja tiloja kuin kaupallisilla pakopeleillä. Tämän vuoksi pedagogisen pakopelin suunnittelu on järkevää aloittaa pelin toteutusta rajoittavien resurssien määrittelyllä: kuinka paljon peliin ja sen suunnitteluun on käytettävissä aikaa, millaisia tiloja ja tekniikkaa on käytettävissä, mikä on budjetti ja onko peli mahdollista toteuttaa yhteistyössä muiden opettajien kanssa. Myös pedagogisen pakopelin kohderyhmä tulee huomioida: esimerkiksi oppilaiden ikä, luokan ryhmäkoko, ryhmädynamiikka, aiempi kokemus pakopeleistä sekä heidän omaamansa pohjatiedot ja -taidot vaikuttavat pedagogisen pakopelin ja sen eri elementtien suunnitteluun. Lisäksi oppilaiden mahdolliset esteettömyys- ja erityisen tuen tarpeet kannattaa ottaa huomioon suunnittelun alusta lähtien, jotta kaikki oppilaat pystyisivät osallistumaan pakopeliin ja saamaan onnistumisen kokemuksia. Pedagogisen pakopelin suunnittelu ja toteutus voi tuntua haasteelliselta ottaen huomioon resurssien rajallisuuden, mutta opetuskäyttöön suunnattuja kemian pakopelejä[8,9] on jo järjestetty menestyksekkäästi varsin pienillä budjeteilla.[5,6,12]

Tässä tutkimuksessa kemian pedagoginen pakopeli suunniteltiin siten, että sen tavoiteltuna kohderyhmänä ovat valtakunnallisia valinnaisia opintoja valinneet lukion kemian opiskelijat. Päätös suunnata pakopeli nimenomaan valinnaisten kemian opintojen opiskelijoille tehtiin siksi, että opiskelijoilla olisi jo jonkin verran pohjatietoja lukion kemiasta sekä toivon mukaan myös kokemusta itsenäisemmästä kokeellisesta työskentelystä. Lisäksi uudessa lukion opetussuunnitelmassa (LOPS 2019) suunniteltavan pedagogisen pakopelin aihealueeksi jo tutkimusprosessin alussa valittua orgaanisten yhdisteiden kemiaa käsitellään syvällisemmin vasta valtakunnallisten valinnaisten opintojen moduuleissa (esimerkiksi KE3).[4] Pakopelin ja sen tehtävien suunnittelussa pyrittiin huomioi-

maan opiskelijoiden mahdolliset erilaiset pohjatiedot ja -taidot, oppimisvaikeudet sekä muut erityisen tuen tarpeet mm. korostamalla yhteistoiminnallisuuden merkitystä pakopelin ratkaisemisessa ja suunnittelemalla tehtäviä, jotka tukevat monenlaisia taitoja sekä vahvuuksia.[6,16,17,31]

Vaikka suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä aiottiin testata alustavasti kemian opettajaopiskelijoilla Itä-Suomen yliopiston LUMA-laboratoriossa, suunniteltiin pakopeli siten, että sen hyödyntäminen olisi mahdollista myös osana tavanomaista lukion kemian opetusta. Tämän vuoksi pakopeli suunniteltiin sillä oletuksella, että sen toteutukseen on käytettävissä yhdellä opettajalla yhteensä korkeintaan kaksi 45 minuutin oppituntia sisältäen myös alkuohjeistukset ja pelin jälkeisen purkukeskustelun. Oppilasryhmän kooksi oletettiin yhteensä 24 oppilasta, joista suurimmalla osalla ei oletettu olevan aiempaa kokemusta pakopeleistä. Tilojen osalta pakopeli suunniteltiin sen oletuksen pohjalta, että käytettävissä on tavanomainen kemian luokka, joka on varustettu vähintään yhdellä vesipisteellä, tietokoneella ja videotykillä. Käytettävissä oletettiin olevan myös yleisesti kemian opetukseen käytettäviä reagensseja, lasitavaraa ja työvälineitä. Budjetti sekä pakopeliä varten tehtävät hankinnat, esimerkiksi lukot ja rekvisiitta, pyrittiin pitämään minimissään ja ensisijaisesti lainaamaan tai valmistamaan tarvittavat esineet itse.

6.2.2. Oppimistavoitteet

Pakopeliin sisällytettävien oppimistavoitteiden ja -sisältöjen määrittäminen on yksi tärkeimpiä pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessin vaiheita. Tämän määrittelyn tulisi tapahtua heti suunnittelun alkuvaiheessa ennen pulmatehtävien suunnittelua, jotta oppimistavoitteet ja -sisällöt voidaan integroida mahdollisimman hyvin pedagogisen pakopelin teemaan, kehystarinaan ja tehtäviin sopiviksi.[16,17,31] Pedagogiset pakopelit ovat monipuolinen opetusmenetelmä, jonka avulla voidaan opettaa sekä oppiainekohtaisia että monialaisia kokonaisuuksia, mutta yhteen peliin ei kannata kuitenkaan sisällyttää liikaa erilaisia tavoitteita tai sisältöjä.[6] Oppimistavoitteiden ja -sisällön huolellisen määrittelyn avulla voidaan tukea pedagogisen pakopelin aikana tapahtuvaa merkityksellistä oppimista. Konkreettisten, mitattavien oppimistavoitteiden määrittäminen mahdollistaa oppimisprosessin arvioinnin ja auttaa myös opiskelijoita reflektoimaan omaa oppimistaan ja tunnistamaan osaamistaan pakopelin aikana.[16,17] Oppimistavoitteiden lisäksi suunnitteluprosessin alussa olisi hyvä myös pohtia suunniteltavan pakopelin pedagogista viitekehystä, sen toteuttamiseen valittuja lähestymistapoja sekä pedagogista tarkoitusta: onko pakopeliä tarkoitus käyttää uuden tiedon opettamiseen, jo opitun tiedon kertaamiseen, tiettyjen taitojen harjoittelemiseen, vai arviointiin. [6,16,17,31]

Suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin aihealueeksi valikoitui jo aikaisessa vaiheessa orgaanisten yhdisteiden kemia. Myöhemmin lukion opetussuunnitelman kemian oppimistavoitteita ja -sisältöjä tarkasteltaessa pakopelin aihekokonaisuudeksi valittiin hiiliyhdisteiden rakenteita, isomeriaa ja funktionaalisia ryhmiä käsittelevä kokonaisuus, joka sijoittuu pääasiassa kemian valtakunnallisten valinnaisten opintojen moduulin KE3, mutta osittain myös pakollisten opintojen moduulin KE2 sisältöihin. Suunnitellun kemian pakopelin pedagogista viitekehystä ja opetussuunnitelman

tavoitteita on käsitelty tarkemmin luvussa 3, ja valittujen kemian aihekokonaisuuksien oppimissisältöjä puolestaan luvussa 5.

Kemian pedagoginen pakopeli päätettiin suunnitella pääasiassa orgaanisten yhdisteiden kemiaa kertaavaksi ja opintojakson aikana opittuja asioita soveltavaksi kokonaisuudeksi, joka voitaisiin sisällyttää kemian opetukseen esimerkiksi valinnaisen KE3-moduulin aikana tai lopussa. Aiemmin opitun tiedon soveltamista ja luovaa ongelmanratkaisua harjoittavien tehtävien lisäksi pakopeliin haluttiin sisällyttää kokeellisuutta sekä pienimuotoisen kokeellisen kemian työn, että analyyttisen spektroskopian muodossa. Pedagogisen pakopelin moodiksi päädyttiin valitsemaan voimakkaan kilpailullisen asetelman sijaan yhteistoiminnallisempi toteutustapa: eri joukkueita ei haluttu asettaa varsinaisesti kilpailemaan toisiaan vastaan esimerkiksi pakopelin suoritusnopeudessa, vaan pelaajia haluttiin sen sijaan kannustaa tekemään yhteistyötä paitsi oman joukkueensa sisällä, mutta myös muiden joukkueiden kanssa. Valitun lähestymistavan toivottiin tukevan opiskelijoiden sosiaalisten taitojen, esimerkiksi neuvottelu-, ryhmätyö- ja vuorovaikutustaitojen kehittymistä. Yhteistoiminnallisuuden korostamisen toivottiin lisäksi tuovan hieman joustavuutta tehtävien vaikeustasoon: mikäli jokin tehtävä osoittautuu yllättävän haastavaksi, voivat joukkueet auttaa toisiaan pakopelin aikana opettajalta pyydettävien vinkkien lisäksi.

Kemian pedagogisen pakopelin aihekokonaisuus, orgaanisten yhdisteiden kemia, päätettiin suunnitteluprosessin aikana yhdistää temaattisesti elintarvikkeiden kemiaan, erityisesti mausteisiin. Yhdistämällä pakopelin oppimissisällöt laajempaan, jokapäiväisen elämän kontekstiin haluttiin tukea merkityksellistä oppimista. Pedagogiset pakopelit soveltuvat myös erinomaisesti monialaiseen, oppiainerajat ylittävään yhteistyöhön.[6,12] Vaikka tätä kemian pedagogista pakopeliä ei suunniteltu nimenomaan monialaiseksi kokonaisuudeksi, on sitä mahdollista muokata sisältämään oppiainerajat ylittävää yhteistyötä, esimerkiksi biologian tai vaikka kotitalouden opettajan kanssa. Pakopelin teemaa, taustatarinaa ja tehtäviä muokkaamalla muita monialaisen yhteistyön mahdollisuuksia voisivat olla esimerkiksi yhteistyö terveystiedon, historian, maantiedon, fysiikan, matematiikan tai kielten opettajien kanssa.[6,12]

Suunnitellun kemian pakopelin yleisiksi oppimistavoitteiksi valittiin pakopelien pedagogista viitekehystä mukaillen kokeellisuus, yhteistoiminnallisuus, sekä opiskelijan sisäisen motivaation ja kiinnostuksen herättäminen kemian opiskelua kohtaan. Pakopelin avulla pyrittiin luomaan innostava ja motivoiva pelillistetty oppimisympäristö, jossa opiskelijat pääsevät soveltamaan ja kehittämään sekä kemian tietoja ja taitoja, että sosiaalisia taitoja. Pakopelin konkreettisiksi oppimistavoitteiksi valittiin orgaanisten yhdisteiden rakenteiden ja isomerian ymmärtäminen, funktionaalisten ryhmien tunnistaminen kvalitatiivisten osoitusreaktioiden avulla, sekä IR-spektrien tulkitseminen.

6.2.3. Pelin teema ja juoni

Pedagogisissa pakopeleissä kerronnalliset elementit kuten teema, taustatarina ja juoni tukevat immersion syntymistä ja siten tehokkaan oppimisprosessin kannalta olennaista virtaustilaan pääsemistä. Niiden avulla on myös mahdollista syventää itse oppimiskokemusta.[6,12] Sopivalla teeman ja juonen valinnalla voidaan monialaisia ilmiöitä tarkastella pedagogisessa pakopelissä syvällisemmin eri näkökulmista: esimerkiksi kemian pakopeliin voidaan tuoda mukaan yhteiskunnallisia tai historiallisia teemoja sijoittamalla pakopeli tiettyyn aikakauteen tai käyttämällä juonen pohjana esimerkiksi kemian historiasta tutun henkilön elämäntarinaa. Pedagogisen pakopelin teeman valinnassa on tärkeää löytää tasapaino käytettävissä olevien resurssien sekä oppilaita kiinnostavan ja mahdollisimman immersiivisen peliympäristön luomisen välillä. Nicholsonin mukaan pelaajat nauttivat yleensä saadessaan toimia sankarillisesti, kohdatessaan haasteita ja ollessaan osa jonkinlaista spektaakkelia.[3] Ottamalla nämä kolme asiaa huomioon pakopelin teemaa ja juonta suunniteltaessa voidaan peliin tuoda lisää immersiivisyyttä myös rajallisilla resursseilla. Nicholsonin[46] mukaan osallistava tarinankerronta on pedagogisissa pakopeleissä tärkeää: pelaajien valinnoilla tulisi olla merkitystä tarinan kannalta, jotta oppimiskokemus voi syventyä.[3,6,12,46]

Pakopelien suunnittelussa suositellaan yleensä suunnittelemaan pulmatehtävät vasta sen jälkeen, kun pelin teema on valittu ja juoni kirjoitettu: näin tehtävät eivät jää irrallisiksi, vaan ne on helpompi ottaa osaksi juonen kehitystä. Nicholsonin mukaan pedagogisissa pakopeleissä tarinan tulisi olla keskiössä, ja pulmatehtävien, lukkojen ja muiden elementtien tehtävänä on tukea pelin kerrontaa.[46] Narratiiviset valinnat kytkeytyvät myös pakopelin rakenteeseen: mikäli pakopelistä halutaan juonellinen, on tarinan edistyminen huomattavasti helpompaa sisällyttää rakenteeltaan lineaariseen kuin esimerkiksi avoimeen pakopeliin. Vaikka pedagogisessa pakopelissä ei olisi ollenkaan pakopelin aikana edistyvää juonta, vaan se olisi esimerkiksi kokoelma tietyn teeman ympärille rakennettuja pulmatehtäviä tai rasteja, tulisi siinä silti olla jonkinlainen tausta- tai kehystarina immersion luomiseksi ja virtaustilan saavuttamisen edistämiseksi.[5,6,12,46]

Yksi tapa aloittaa pedagogisen pakopelin kerronnallisten elementtien suunnittelu on päättää pakopelin sisäinen päätavoite: onko pelaajien tavoitteena paeta pelitilasta, selvittää jonkinlainen mysteeri vai rakentaa kenties aikakone.[27] Kun päätavoite ja pelin lopetus on selvillä, voi olla helpompaa pohtia, millaisen juonen avulla tällainen päätavoite voidaan saavuttaa ja millainen teema tällaiseen tarinaan sopisi. Toinen mahdollinen tapa on päättää ensin pedagogisen pakopelin teema esimerkiksi oppimistavoitteiden tai -sisältöjen pohjalta, määrittää seuraavaksi päätavoite ja suunnitella lopuksi tähän johtava juoni. Kemian pedagogisen pakopelin suunnittelussa käytettiin ensin mainittua tapaa: pakopelin sisäiseksi päätavoitteeksi valittiin mysteerinäytteen tunnistaminen ja pelin lopetuspisteeksi tulosten lähettäminen eteenpäin, mahdollisesti jonkinlaiselle ylemmälle taholle. Tämän jälkeen ryhdyttiin vasta pohtimaan päätavoitetta tukevaa teemaa ja siihen sopivaa juonta ottaen samalla huomioon myös käytettävissä olevat resurssit sekä pakopelin oppimistavoitteet.[27]

Suunnitellun kemian pakopelin mahdollisina teemoina ja juonina pyöriteltiin pitkään jonkinlaisen rikoksen selvittämistä laboratoriossa, mutta aivan tyypillisimpään, CSI-tyyppiseen rikospaikkatut-

kintaan ei haluttu päätyä, sillä tämä on sekä kaupallisissa pakopeleissä että luonnontieteiden opetuksessa usein käytetty aihe eikä se siten jaksaisi välttämättä enää kiinnostaa opiskelijoita. Yliluonnollisten elementtien hyödyntäminen osana mysteeriä houkutteli, mutta vaatisi todennäköisesti enemmän panostusta pakopelin rekvisiittaan, jotta immersio ja virtaustila voitaisiin saavuttaa. Koska pakopelin oppisisällöt liittyivät elintarvikkeiden ja mausteiden kemiaan, tuntui luontevimmalta sijoittaa pakopeli jollain lailla jokapäiväiseen elämään ja valita teema aiheeseen sopivaksi. Käytännön syistä asetetulle aikarajalle, ryhmäkoolle ja pelin rakenteelle haluttiin löytää lisäksi jonkinlainen pelimaailman sisäinen, teemaan sopiva syy, joka tukisi pakopelin immersiivisyyttä.

Lopulta kemian pedagogisen pakopelin teemaksi valittiin sopivalla tavalla todellisen maailman ilmiöitä heijasteleva ja yliluonnollisia elementtejä yhdistelevä aikamatkustusmysteeri, jossa joukko tulevaisuudesta saapuneita henkilöitä yrittää estää maailmanlopun löytämällä ja tunnistamalla mysteerinäytteen ennen kuin on liian myöhäistä. Aikamatkustus paradokseineen ja rinnakkaismaailmoineen tarjoaa myös hyvän teemallisen syyn sille, miksi samassa pelitilassa työskentelee yhtä aikaa useita joukkueita samanlaisten pulmatehtävien parissa. Joukkueiden täytyy pakopelin aikana tehdä välillä myös yhteistyötä pulmatehtävien ratkaisemiseksi, pelissä etenemiseksi ja maailman pelastamiseksi: kukapa ei haluaisi olla sankari, joka pelastaa maailman. Oppilaille kerrottavaksi pedagogisen pakopelin tarinalliseksi päätavoitteeksi valittiin oppimistavoitteita mukaillen mysteerinäytteen IR-spektrin tulkitseminen sekä yhdisteen nimen ja rakenteen selvittäminen: päätavoitteen jakaminen pienempiin osiin tukee oppilaiden työskentelymotivaatiota ja antaa heille onnistumisen kokemuksia matkan varrella. Suunnitellun pakopelin taustatarina löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 4. Taustatarina suunniteltiin jaettavaksi opiskelijoille juuri ennen pakopelin aloittamista tulevaisuuden sankaritiimeille jaettavan ”virallisen” tehtävänantodokumentin muodossa.

Aluksi kemian pakopeliin haluttiin sisällyttää vahvasti immersiivinen, pulmatehtävien mukana etenevä juoni, joka noudattelisi osallistavan tarinankerronnan periaatteita, mutta tämä osoittautui lopulta haastavaksi suunnitella. Juonen ei haluttu myöskään häiritsevän liikaa itse pulmatehtäviin keskittymistä, joten lopulta päädyttiin hieman kevyempään kehystarinaan, jossa tarina ei varsinaisesti etene pulmatehtävien mukana, mutta kehystarina tarjoaa silti immersiivisyyttä ja pelimaailman sisäisen tavoitteen pulmatehtävien ratkaisemiselle. Vaikka oppilaiden valinnat ja toiminta eivät vaikutakaan pelimaailmaan jokaisen pulmatehtävän kohdalla, on pakopelin aikana tehdyillä valinnoilla ja toiminnalla seurauksia kehystarinan kannalta.

6.2.4. Pelin rakenne ja ryhmäkoko

Pedagogisten pakopelien yhtenä suurimpana käytännön haasteena on, kuinka järjestää pakopeli luokalliselle oppilaita oppituntien määrittämän aikarajan puitteissa. Pedagogisten pakopelien suositeltu ryhmäkoko on 3-6 henkilöä per joukkue: kuutta henkeä suurempia ryhmiä ei yleensä suositella pedagogisiin pakopeleihin, jotta kaikki pelaajat pääsevät osallistumaan pakopelin aikana.[3,5,6,12,31] Isommat ryhmät eivät myöskään välttämättä suoriudu pakopelistä pieniä ryhmiä paremmin.[3,6,17,33]

Yhdessä kemian oppilasryhmässä voi kuitenkin olla yhteensä jopa 20-30 oppilasta, mikä vaatisi pakopelin pelauttamista ainakin 4-5 kertaa. Pakopelien kesto on yleensä n. 60 minuuttia, mutta pedagogisissa pakopeleissä suositellaan pelin kestoksi vähintään 30-45 minuuttia, jotta oppilaat ehtivät päästä virtaustilaan oppimisprosessin tehostamiseksi.[6,12,21] Esimerkiksi puolen tunnin pakopelin järjestäminen vierailevalle 24 lukiolaisen kemianluokalle veisi jo yhteensä vähintään kaksi oppituntia – tai yhden oppitunnin, mikäli pakopelejä voitaisiin pelauttaa yhtä aikaa esimerkiksi kahdessa eri tilassa muiden opettajien tai opettajaopiskelijoiden avustuksella. Varsinaisen peliajan ja pelien välissä tapahtuvan pakopelitilan resetoinnin lisäksi pedagogisissa pakopeleissä tulee kuitenkin huomioida myös joukkueiden ohjeistaminen joko yhteisesti tai erikseen ennen pakopeliä, sekä erityisesti pelin jälkeen yhteisesti pidettävä purku, jossa pelin oppimissisältöjä ja oppilaiden kokemuksia käydään läpi opettajan johdolla. Nämä huomioon ottaen pedagogisen pakopelin toteuttamiseen voi kulua helposti useita oppitunteja. Ajankäyttöön voidaan kuitenkin vaikuttaa jonkin verran joukkuekokojen valinnalla sekä pakopelin rakenteen suunnittelulla.[3,5,6,12,17,19,21,31,33]

Pedagogisen pakopelin rakenne tulee valita huolellisesti oppimispakopelin tavoitteisiin sekä käytettävissä oleviin resursseihin sopivaksi. Taulukkoon 4 on koottu Koirasen pohdintaa pakopeleille tyypillisten rakenteiden soveltuvuudesta pedagogisiin pakopeleihin.[6] Yhtenä ajallisesti tehokkaana vaihtoehtona on järjestää pakopeli esimerkiksi rastimaisena avointa rakennetta hyödyntäen, jolloin koko luokka voi osallistua peliin yhtä aikaa useina eri joukkueina. Virtaustilaan pääseminen on avoimen rakenteen pakopeleissä kuitenkin hieman hankalampaa kuin esimerkiksi lineaarisissa pakopeleissä, kun tehtävät eivät johda aina seuraavaan.[6,12] Mukaansa tempaavan, immersiivisen ja pelin mukana etenevän juonen sijoittaminen avoimeen pakopeliin voi myös olla haastavaa, sillä pelaajat voivat vapaasti päättää missä järjestyksessä rasteja suorittavat. Useiden joukkueiden yhtäaikainen valvonta vaatisi myös apua muilta opettajilta tai opettajaopiskelijoilta. Vaikka avoin rakenne ratkaisisi monet ajankäyttöön liittyvät ongelmat, ei pelkkä avoin rakenne ei tuntunut oikein sopivan kemian pakopeliin ajateltuun teemaan, joten siitä luovuttiin jo aikaisessa vaiheessa.[6,12]

***Taulukko 4**: Pakopeleille tyypillisten rakenteiden edut ja haasteet pedagogisia pakopelien kannalta ryhmäkokoa, juonellisuutta, pelialueen kokoa sekä tehtävänratkaisua tarkasteltaessa.*

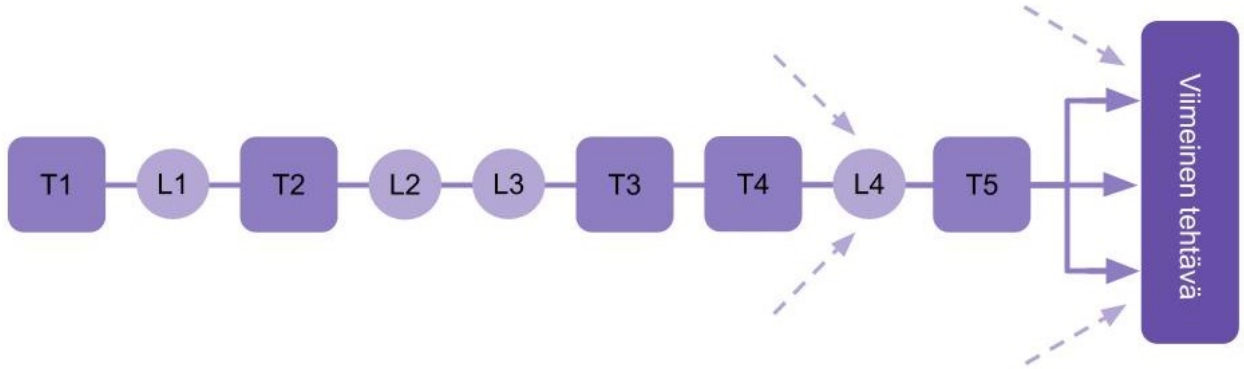
	Lineaarinen	Rinnakkaiset polut	Avoin
Ryhmäkoko	2-6 henkeä (tai useampia rinnakkaisia pienryhmiä)	2-6 henkeä (myös suuremmat ryhmäkoot mahdollisia)	Useita pienryhmiä
Tarina	Juoni mahdollinen	Juonen kehittely vaikeaa	Juoni mahdollinen
Pelialue	Pienehkö	Pienehkö	Laaja
Tehtävät	Ryhmä ratkoo kaikki yhdessä	Pelaajat jakautuvat ratkomaan eri tehtäviä	Ryhmä ratkoo kaikki yhdessä

Rinnakkaisten polkujen rakenne useine tehtäväpolkuineen on pedagogisissa pakopeleissä hieman haastavampi toteuttaa kuin esimerkiksi lineaarinen rakenne. Kun tehtäväpolkuja on useita ja tehtäviä voi ratkoa useita yhtä aikaa, oppilaiden on helppo hämmentyä erilaisista tarjolla olevista vihjeistä ja kohteista ja peli voi tuntua kaoottiselta. Myös virtaustilaan pääseminen voi olla Koirasen mukaan hankalampaa rinnakkaisia polkuja hyödyntävissä pedagogisissa pakopeleissä, etenkin jos peliaika on kovin lyhyt.[6] Rinnakkaisten polkujen rakenne voi kuitenkin toisaalta olla oppilaille myös mielenkiintoisempi ja pelimäisempi kuin yksinkertainen lineaarinen rakenne, mikäli se toteutetaan selkeästi. Kun tehtäviä on runsaasti, kaikki oppilaat pääsevät myös helpommin osallistumaan pelaamiseen. Rinnakkaisten polkujen rakenteessa on mahdollista tehostaa ajankäyttöä kasvattamalla joukkueiden ryhmäkokoa, jolloin joukkueet voivat jakaantua ratkaisemaan eri tehtäväpolkuja yhtä aikaa. Pedagogisissa pakopeleissä joukkueen ryhmäkoon tulisi kuitenkin olla mielellään mahdollisimman pieni, jotta kaikki joukkueen jäsenet pääsevät ratkaisemaan tehtäviä ja hyötyvät oppimispakopelin sisällöstä. [6] Yhtenä ratkaisuna tähän voisi löytyä useammasta rinnakkain ratkaistavasta, oppimissisällöiltään samaa aihetta käsittelevistä tehtäväpoluista, joita joukkue voi rauhassa jakautua tekemään: oppilaat tulisivat käyneeksi läpi kaikki keskeiset oppimissisällöt eri tehtäväpoluilla työskentelemisestä huolimatta, mutta kaikille riittäisi tekemistä pelin aikana. Rinnakkaisten polkujen rakenne soveltuu hyvin esimerkiksi saman ilmiön eri puolien tarkasteluun tai saman asian harjoitteluun monella eri tavalla, joten sitä voisi hyödyntää esimerkiksi monialaisissa, ilmiöpohjaisissa oppimiskokonaisuuksissa pelkän kemiaan keskittyvän aihekokonaisuuden sijaan.[6,12]

Koiranen suosittelee pedagogisiin pakopeleihin erityisesti lineaarista rakennetta, sillä tehtävien suorittaminen tietyssä järjestyksessä edesauttaa virtaustilaan pääsemistä ja luo oppilaille selkeän etenemissuunnan pelin aikana.[6] Lineaarisessa rakenteessa tehtävät on helppo rakentaa tukemaan juonen etenemistä, mikä edesauttaa immersiota. Lineaarinen rakenne soveltuu selkeytensä vuoksi erityisen hyvin peleihin, joissa aikaa on käytettävissä vain vähän joukkuetta kohti. Koiranen ehdottaakin yhdeksi aikaa säästäväksi vaihtoehdoksi useiden lineaarista rakennetta hyödyntävien pakopelien järjestämistä yhtä aikaa samassa tilassa: jokainen joukkue suorittaa samat tehtävät, mutta joukkueilla on omat, esimerkiksi tietyllä värillä merkityt vihjeensä ja joukkueet saavat tehtävien suorittamisesta eri vastauksen tai koodin muilta kopioinnin estämiseksi. Tällainen rinnakkainen, toteutukseltaan hieman rastimainen, mutta sisäiseltä rakenteeltaan silti lineaarinen pakopeli olisi mahdollista järjestää esimerkiksi yhden 45 minuutin oppitunnin aikana, mikäli käytettävissä on tarpeeksi suuri tila. Osa tehtävistä voi silti olla kaikille joukkueille yhteisiä, esimerkiksi aloitus- tai lopetustehtävä, johon tarvitaan jokaiselta joukkueelta esimerkiksi osa koodia.[6,12]

Tässä tutkimuksessa suunnitellun pakopelin rakenteen valintaan vaikuttivat eniten suunnittelulle määritellyt reunaehdot: pedagoginen pakopeli pitäisi olla mahdollista järjestää kahden 45 minuutin oppitunnin aikana 24 oppilaalle yhden opettajan voimin hyödyntäen minimaalisia resursseja ja tavanomaista kemianluokkaa tilana. Käytännössä varsinaista pakopelin peliaikaa on kuitenkin vain 45 minuuttia, sillä toinen oppitunti päätettiin varata purkukeskustelua varten. Pakopelin rakenteen pohtiminen aloitettiin jo osittain yhtä aikaa pelin teeman ja juonen suunnittelun kanssa, jotta valittu rakenne ja teema tukisivat toisiaan ja sopisivat reunaehtoihin. Aluksi harkittiin rinnakkaisten polkujen hybridirakennetta, jossa useista tehtävistä ja lukoista koostuvat kaksi tai kolme eri metatehtävä-

polkua olisivat lopulta yhdistyneet lopputehtävän suorittamiseen. Vaikka tällainen rakenne soveltuukin hyvin viihteellisiin pakopeleihin, on se hieman liian monimutkainen ja aikaa vievä käytettäväksi pedagogisissa pakopeleissä. Määritettyjen reunaehtojen vuoksi ainoaksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi muodostui lopulta muutamissa lähteissä mainittu lineaarisen rakenteen rinnakkainen toteutus, joka mahdollistaisi kemian pedagogisen pakopelin pelauttamisen yhtä aikaa kaikille neljälle joukkueelle.[6,15] Valittu rakenne on esitelty yksinkertaistetussa muodossa kuvassa 41.



Kuva 41. *Suunniteltu pakopeli on rakenteeltaan lineaarinen: peli etenee järjestyksessä tehtäviä (T) ja lukkoja (L) ratkaisemalla kohti viimeistä, kaikille joukkueille yhteistä lopputehtävää. Pakopeli on suunniteltu järjestettäväksi rinnakkain neljän joukkueen kesken yhtä aikaa samassa tilassa: katkoviivalliset nuolet osoittavat niihin tehtäviin ja lukkoihin, joiden ratkaisemiseksi vaaditaan yhteistyötä muiden joukkueiden kanssa.*

Pakopelien pelauttaminen kaikille joukkueille yhtä aikaa on koulumaailmaan liittyvien aikatauluraajoitteiden vuoksi erityisen houkutteleva konsepti. Jos kaikki joukkueet pelaavat pakopeliä yhtä aikaa, ei tarvitse huolehtia vaihtoehtoisen toiminnan ja valvonnan järjestämisestä kunkin pelautuksen ulkopuolelle jääville oppilaille, eikä myöskään pakopelin resetoinnista pelautusten välillä. Rinnakkainen lineaarinen toteutus mahdollistaa myös kaikkien joukkueiden välistä yhteistyötä hyödyntävien pulmatehtävien ja pelillisten elementtien hyödyntämisen pakopelissä. Toisaalta pakopelitilan tulee olla tarpeeksi tilava, jotta kaikki joukkueet mahtuvat työskentelemään turvallisesti etenkin kokeellisen työn aikana. Pulmatehtävien, vihjeiden ja lukkojen suunnitteluun ja materiaalien tuottamiseen voi joutua käyttämään hieman enemmän aikaa, jotta jokaiselle ryhmälle saadaan ratkaistavaksi omat pulmatehtävät, eikä muilta kopioiminen ja siten pakopelissä oikaisu ole mahdollista. Vaikka joukkueet ratkaisevat samanlaisia tehtäviä, on joukkueilla esimerkiksi omat erilaiset näytteensä, joita he tutkivat kokeellisen työn aikana. Rekvisiittaa, kuten esimerkiksi lukkoja, voi joutua tällaisesta rakennetta hyödyntävässä pakopelissä hankkimaan useita kappaleita: tämä kannattaa ottaa huomioon pulmatehtäviä suunniteltaessa ja pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman paljon esimerkiksi Google Forms -lomakkeiden avulla toteutettuja virtuaalisia ”lukkoja” ja muita rekvisiitaltaan kevyitä ratkaisuja. Häiriötekijöiden vähentämiseksi ja virtaustilassa pysymisen tukemiseksi jokaisella joukkueella tulisi olla omat työpisteensä pelitilassa ja mielellään jopa oma kommunikaatiokanavansa pelinohjaajajana toimivaan opettajaan: näin opettaja voi antaa vinkkejä kohdistetusti tietylle joukkueelle sen sijaan, että vinkit luettaisiin esimerkiksi ääneen kaikille.

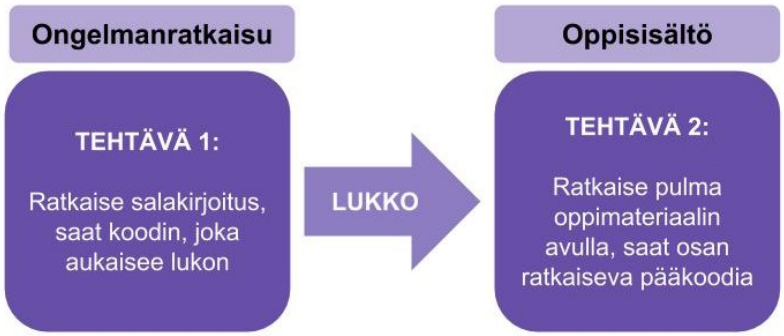
Yksi huomionarvoinen seikka on, että mikäli aikaa tai tilaa sekä pelinohjaajia on käytettävissä enemmän, on yllä kuvatulla lineaarisella rakenteella suunniteltu kemian pedagoginen pakopeli mahdollista toteuttaa pienin muokkauksin myös perinteisemmän pakopelin tapaan, jossa vain yksi joukkue pelaa pakopeliä kerrallaan. Valittuun lineaariseen rakenteeseen on myös suhteellisen helppoa lisätä tarvittaessa lukkoja, jos vaikeustasoa halutaan nostaa tai aikaa on käytettävissä enemmän, ja joukkueiden välistä yhteistyötä vaativat tehtävät ovat muunnettavissa sopimaan myös yksi joukkue kerrallaan pelattavalle pedagogiselle pakopelille. Useamman joukkueen rinnakkain pelattavaan pakopeliin olisi periaatteessa mahdollista sisällyttää yhteistyön sijaan tai lisäksi myös kilpailullisempia elementtejä, kuten esimerkiksi aikavertailua, mutta oppimisen kannalta on hyödyllisempää, jos oppilaat työskentelevät yhteistoiminnallisesti.[37]

6.2.5. Pulmatehtävät

Pulmatehtävät ovat pakopelien ydinsisältöä. Pulmatehtävien, ”lukkojen” ja vihjeiden suunnittelu on kuitenkin opettajien mielestä usein yksi pedagogisten pakopelien suunnitteluprosessin haastavimpia vaiheita. Oppimistavoitteiden ja -sisältöjen täyttymisen lisäksi pulmatehtävistä pitäisi saada kiinnostavia, motivoivia ja palkitsevia, jotta pakopeli ei koostu pelkästään piilotettujen vihjeiden etsimisestä ja lukkojen availusta. Immersion ja virtaustilan edistämiseksi pulmatehtävien tulisi myös sopia pakopelin teemaan ja tukea juonen etenemistä. Myös pulmatehtävien vaikeustason tasapainottaminen kohderyhmälle sopivaksi sekä materiaalien tuottaminen resurssien puitteissa koetaan usein haastavaksi ja kuormittavaksi. Hyväksi koettuja pedagogisen pakopelin tehtäviä voi kuitenkin hyödyntää uudestaan ja uudestaan, tai käyttää pohjana uusien tehtävien suunnittelulle. Pulmatehtäviä kannattaa suunnitella mieluummin hieman liikaa kuin liian vähän, sillä on helpompaa poistaa tehtäviä pelin rakenteesta kuin lisätä niitä sinne. [3,6,16-19]

Oppimistavoitteiden ja teeman lisäksi myös pedagogiseen pakopeliin valittu rakenne vaikuttaa pulmatehtävien suunnitteluun. Lineaarinen rakenne ohjaa pelaajia selkäesti pulmatehtävästä toiseen ja mahdollistaa virtaustilaan pääsemisen nopeammin.[6] Toisaalta lineaarisessa rakenteessa pulmatehtävien siirtäminen tai vaihtaminen keskenään ei ole välttämättä yksinkertaista, sillä pienetkin muutokset voivat johtaa muutoksiin koko rakenteessa. Jos pulmatehtävistä tekee irrallisempia, kuten esimerkiksi avoimessa rakenteessa, jää pulmatehtävien ja juonen yhteys heikoksi ja immersiivisyys kärsii.[6,36] Rinnakkaisessa rakenteessa haasteeksi nousee usein erilaisten vihjeiden, kohteiden ja yhtä aikaa pelaajien ratkottavissa olevien pulmatehtävien runsas määrä, mikä saattaa hämmentää pelaajia, ellei pelin ohjeistusta sekä tehtävien ja vihjeiden sijoittelua suunnitella huolella. Tehtävien ohjeistuksen, vihjeiden ja materiaalien tulee olla mahdollisimman selkeitä, jotta pelaajat eivät hämmenny tai jää jumiin. [6,16,17,36]

Vaikka pedagogisen pakopelin pulmatehtävät tulisi suunnitella oppimistavoitteiden ja -sisältöjen ympärille, valittu oppimissisältö ei välttämättä istu suoraan sellaisenaan pakopelin teemaan ja tarinaan.[12] Tällöin voidaan käyttää kuvassa 42 esitettyä ns. oppisisällön voileipärakennetta, jossa oppimissisällöltään ”raskaammat” ja mahdollisesti oppilaiden näkökulmasta haastavammat tehtävät piilotetaan oppimissisällöltään ”kevyempien” ja teemaan voimakkaammin liittyvien tehtävien väliin: näin pakopelin immersiota on mahdollista ylläpitää, vaikka pedagogiseen pakopeliin sisällytettäisiin myös oppimissisällöltään vaativampia tehtäviä.[12] Pulmatehtäviä, vihjeitä ja kohteita on silti suositeltavaa yrittää muokata mahdollisimman hyvin valittuun teemaan sopiviksi, edes ulkoisesti. Hieman kuvatun kaltaista voileipärakennetta on hyödynnetty myös suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä: pelkistä ketjutetuista kemian tehtävistä koostuvan rakenteen sijaan oppimissisällöltään merkityksellisemmät ja enemmän kemian tietoja ja taitoja harjoittavat varsinaiset pulmatehtävät vuorottelevat kevyempien ja nopeampien lukkojen kanssa, joiden tarkoituksena on tuoda mukaan pelillisyyttä sekä palkitsevia elämyksiä.[12]



Kuva 42: *Pedagogisten pakopelien oppimissisällön voileipärakenne, jonka avulla pedagogisen pakopelin raskaampaa opetuksellisesta sisältöä voidaan rytmittää kevyemmillä, teemaan sopivilla perinteisemmillä pakopelipulmilla ilman, että immersio rikkoutuu.* [12]

Suunniteltuun kemian pedagogiseen pakopeliin valitun lineaarisen rakenteen toteuttaminen rinnakkaisena vaatii hieman enemmän suunnittelua pulmatehtävien osalta kuin vain yhden joukkueen kerrallaan suorittama lineaarinen rakenne. Pulmatehtävien tulisi olla sellaisia, että niistä on helppo luoda useampia versioita, joissa eri joukkueet saavat samoista tehtävistä erilaisia vastauksia. [6] Myös tehtävien sijoittelu pelitilaan vaatii erityistä suunnittelua, jotta eri joukkueet eivät törmäile toisiinsa liikaa pakopelin aikana, vaan pystyvät keskittymään ja työskentelemään tehokkaasti pelin aikana. Pulmatehtävät, niiden vihjeet ja kohteet on kaikki hyvä merkitä selkeästi eri joukkueille kuuluviksi esimerkiksi värillisen teipin avulla tai tiettyä symbolia käyttäen. Yhtenä vaihtoehtona olisi ollut toteuttaa kunkin joukkueen kaikki tehtävät samassa paikassa, tai kierrättää joukkueita eri tehtäväpisteillä rastimaisesti, mutta näiden toteuttaminen käytännössä ei tuntunut sopivalta suunniteltua kemian pakopeliä ajatellen.[6,12] Pakopelien järjestäminen yhtä aikaa rinnakkain kaikille joukkueille mahdollistaa joukkueiden välisen yhteistyön hyödyntämisen pulmatehtävissä, erityisesti pakopelin loppuratkaisussa. Suunnitellussa kemian pakopelissä kaikkien joukkueiden panosta tarvitaan pelin etenemiseksi: tämä toivon mukaan kannustaa oppilaita positiivisella tavalla yhteistyöhön ja vuorovai-

kutukseen pelin aikana. Myös tämän vuoksi on tärkeää, ettei pulmatehtävien vastauksia ei ole mahdollista kopioida suoraan toiselta joukkueelta.[6,12,32,36]

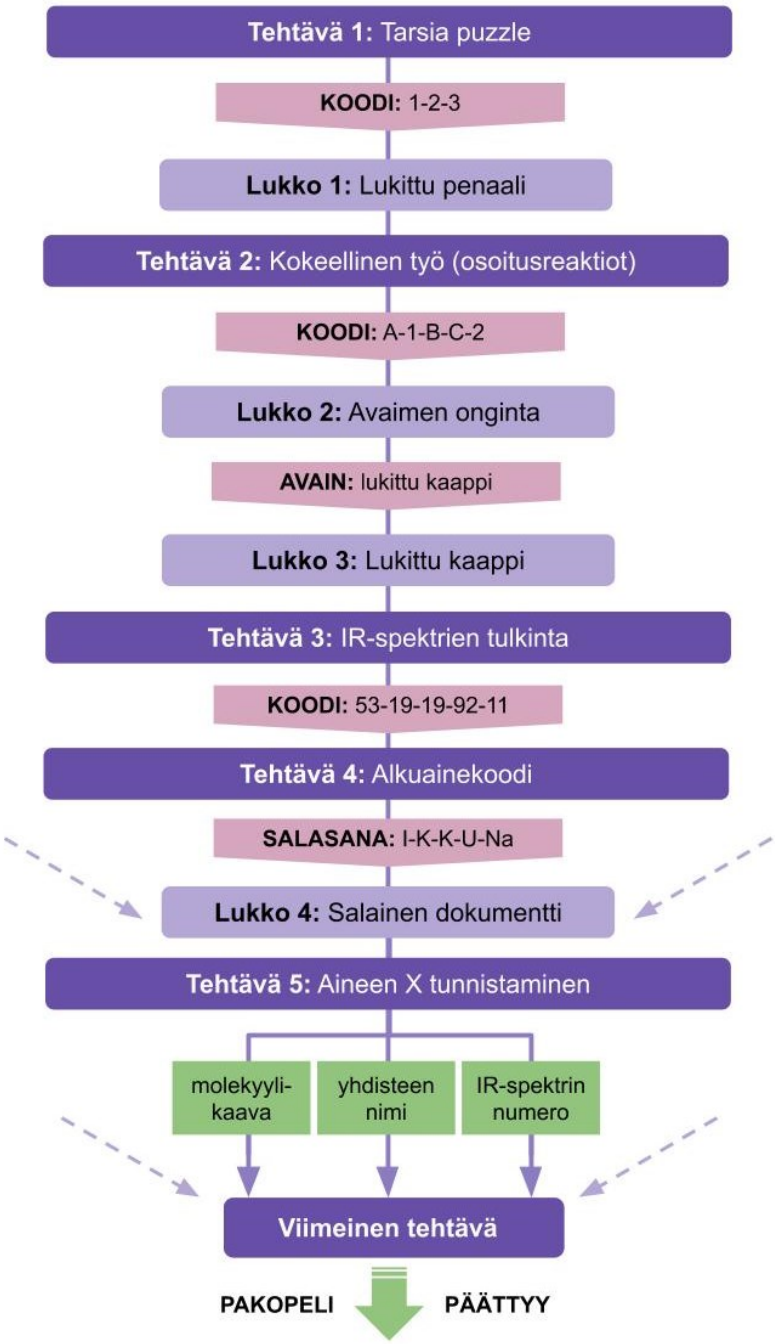
Pulmatehtävien haastavuuden tasapainottaminen oppilaiden taitoihin on tärkeää, jotta oppimisprosessin kannalta ideaalinen virtaustila voidaan saavuttaa: tehtävien tulisi olla tarpeeksi haastavia, mutta ei lannistavia tai epäloogisia.[5,6] Koirasen mukaan pedagogisten pakopelien pulmatehtävät kannattaa suunnitella mieluummin liian vaikeiksi kuin liian helpoiksi, sillä opettajan on aina pelin aikana mahdollista ohjata ja tukea oppilaiden edistymistä vinkkien kautta.[6] Pedagogisissa pakopeleissä on lisäksi tärkeää, että oppilaille on asetettu selkeät tavoitteet, joita kohti pyrkiä, ja että oppilaat saavat toiminnastaan välitöntä palautetta: tämä mahdollistaa oman toiminnan reflektoimisen ja edesauttaa oppimisprosessia. Pulmatehtävät toimivat osatavoitteina, joiden suorittaminen tuntuu palkitsevalta ja antaa oppilaille konkreettista välitöntä palautetta etenemisestään.[6] Pakopelin ensimmäisen pulmatehtävän tulisi olla aina helppo pelaajien motivoimiseksi ja virtaustilaan pääsemiseksi, mutta tehtävien vaikeustason tulisi kasvaa hieman loppua kohden niin, että viimeinen tehtävä päättää pelin pelaajille antoisalla ja palkitsevalla tavalla. Yksi merkki sopivasta vaikeustasosta on yleensä se, että eri joukkueet kokevat eri tehtävät haastavina sen sijaan, että kaikki pelaajat kokevat tietyn tehtävän liian helpoksi tai vaikeaksi. Pedagogisen pakopelin vaikeustasoa voi yrittää säätää esimerkiksi pulmatehtävien määrän, tehtävän ratkaisulle määritetyn ajan tai vihjeiden suorasukaisuuden kautta.[5,6,33]

Pedagogisten pakopelien tulisi sisältää monipuolinen valikoima vaikeustasoltaan vaihtelevia pulmatehtäviä, jotka huomioivat lisäksi oppilaiden erilaiset taitotasot ja vahvuudet: keskeistä on luoda oppilaille palkitsevia kokemuksia.[12] Pulmatehtävien ratkaisemiseen tulisi tarvita pedagogisen pakopelin aikana monipuolisesti erilaisia tietoja ja taitoja, jotta jokaisen joukkueen jäsentä tarvitaan ja mahdollisimman moni oppilas pääsisi harjoittamaan taitojaan ja kokemaan onnistumisen kokemuksia. Pulmatehtävät voidaan suunnitella hyödyntämään jo aiemmin opittujen tietojen ja taitojen soveltamista, tai tarjoamaan oppilaille mahdollisuuksia rakentaa uutta tietoa ja harjoitella uusia taitoja ja luovaa ongelmanratkaisua. Erityisesti kemian pedagogisissa pakopeleissä on mahdollista sisällyttää pulmatehtäviin kokeellisuutta ja tutkivan oppimisen taitoja pienimuotoisten kokeellisten töiden, niiden havainnoinnin ja tulosten analysoinnin kautta. Kemian sisältötiedon oppimisen lisäksi pulmatehtävien tulisi tukea myös luovan ongelmanratkaisun ja luovan ajattelun, sosiaalisten taitojen, kriittisen ajattelun ja yhteistyötaitojen kehittymistä. Valmiita ideoita ja vinkkejä pedagogisten pakopelien pulmatehtäviksi, lukoiksi ja vihjeiksi löytyy suomeksi mm. Joensuun Mediakeskuksen ylläpitämältä *Pakopelit opetuksessa* -sivustolta.[28] Myös englanninkielistä materiaalia ja ideoita pulmatehtäviksi on netissä hyvin tarjolla.[12,28]

Suunnitellun kemian pakopelin kulkukaavio

Kuvassa 43 on esitelty tässä tutkimuksessa suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin kulkukaavio, joka löytyy myös liitteestä 5. Kulkukaavion tarkoituksena on havainnollistaa pakopelin etenemistä pelkkää yksinkertaistettua rakennetta tarkemmin: siinä esitetään kohteiden, eli pulmatehtävien

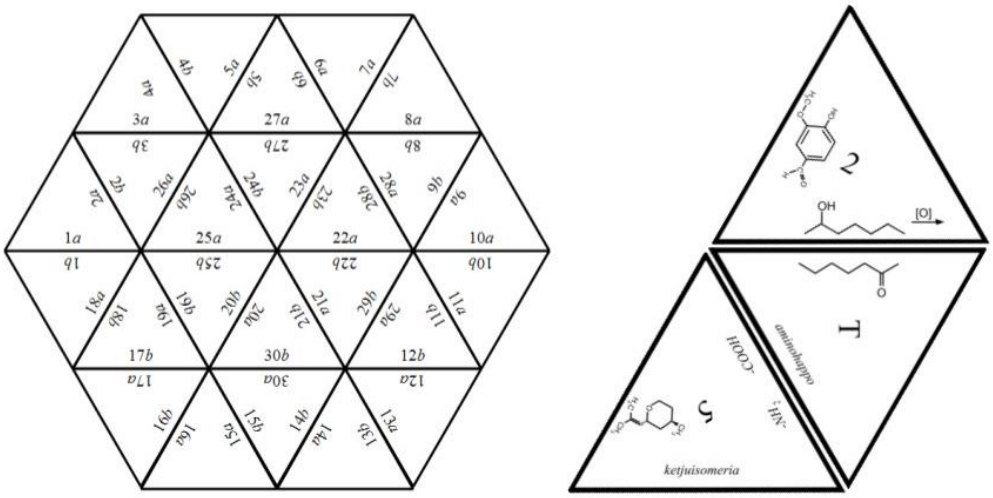
ja ”lukkojen”, sekä niihin tarvittavien vihjeiden, esimerkiksi erilaisten avainten, koodien ja salasanojen, väliset yhteydet ja kerrotaan vaihe vaiheelta, mitä pakopelissä etenemiseen tarvitaan. Kulkukaavion lopusta käy ilmi myös viimeisen tehtävän suorittamista varten tarvittavat tiedot, joita muiden tehtävien kautta kerätään.



Kuva 43. *Suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin kulkukaavio, jossa näkyy pakopelin eteneminen vihjeiden (vaaleanpunainen), kohteiden (vaaleanvioletti) ja pulmatehtävien (tummanvioletti) kautta kohti pelin tavoitteiden (vihreä) ja viimeisen tehtävän ratkaisemista. Katkoviivalliset nuolet kertovat, milloin lukon tai tehtävän ratkaisuun vaaditaan yhteistyötä muiden joukkueiden kanssa.*

Tehtävä 1

Pedagogisen pakopelin ensimmäisen tehtävän kannattaa olla helpompi, jotta pelaajat pääsevät nopeasti sisälle pakopeliin ja virtaustilaan.[6,12] Toisaalta pelin alussa ei kannata antaa oppilaiden harhailla ympäriinsä liian pitkään:[33] tämän vuoksi on tärkeää, että ensimmäinen tehtävä on joko kokonaan tai osittain näkyvillä heti pelin alussa ja sen ratkaisemiseen on selkeät ohjeet. Suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin ensimmäiseksi tehtäväksi valittiin yksinkertainen, mutta yhdessä pohtimiseen ja toimimiseen kannustava tarsia-peli (*tarsia puzzle*), jossa pelaajien tulee yhdistellä kolmion muotoisia palasia löytämällä kemian käsitteiden, orgaanisten yhdisteiden rakenteiden, molekyylikaavojen ja nimien vastinparit. Osa paloista on valmiina kunkin joukkueen pöydällä ja osa on helposti löydettävissä ympäri pelitilaa: etsimistehtävä pelin alussa aktivoi oppilaita tutkimaan pelialuetta ja virittää heidät tutkivaa oppimista varten. Palaset on merkitty joukkueen värillä ja jokainen joukkue kokoaa oman tarsia-pelinsä: pelien sisältö on sama, mutta palaset ovat jokaisessa pelissä eri järjestyksessä suoran kopioinnin vaikeuttamiseksi. Kuvassa 44 on esitelty kemian pedagogista pakopeliä varten suunniteltu kuusikulmainen tarsia-peli, joka käsittelee orgaanisten yhdisteiden rakenteita, yhdisteiden nimeämistä, isomeriaa sekä funktionaalisia ryhmiä. Tarsia-pelin valmistamisessa hyödynnettiin Hermitech Laboratoryn kehittämää netistä ilmaiseksi ladattavaa Formulator Tarsia -sovellusta[47] sekä kuvakäsittelyohjelmaa rakenteiden piirtämiseen. Jos käytössä on tyhjä pohja, voi tarsia-pelin valmistaa myös käsin.[6,12,33,47]



Kuva 44. *Vasemmalla yleinen esimerkki yhdestä kuusikulmion muotoisen tarsia-pelin ratkaisusta. Oikealla esimerkki siitä, kuinka tarsia-peliä ratkaistaan yhdistämällä kolmionmuotoisten palojen sivuilla olevat kemian käsitteet ja rakenteet oikeisiin vastinpareihinsa.*

Lukko 1

Kun tarsia-peli on koottu, muodostuu palojen keskellä olevista kirjaimista ja numeroista kolminumeroisia koodeja pelin jokaiselle sivulle. Vain yhdellä pelin sivuista on kuitenkin kolmesta nume-

rosta koostuva koodi, jonka avulla joukkue voi avata yhden lukituista penaaleista, jonka joukkue todennäköisesti jo löysi paloja etsiessään. Penaalin sisältä löytyvät seuraavassa tehtävässä kokeellisen työn suorittamiseen tarvittavat pipettien kumipäät, joukkueen näytepullon numero sekä myöhemmässä tehtävässä tarvittava lappu, johon on koottu lista orgaanisten yhdisteiden nimiä. Joukkue poimii mysteerinäytteensä vetokaapissa olevien numeroitujen näytepullojen joukosta ja siirtyy yhdelle opettajan valmistelemista kokeellisen työskentelyn pisteistä.

Tehtävä 2

Tehtävässä 2 oppilaat suorittavat yksinkertaisia kvalitatiivisia osoitusreaktioita omassa näytteessään läsnä olevien funktionaalisten ryhmien tunnistamiseksi. Tehtävässä 2 käytetty oppilaiden työohje löytyy liitteestä 1 ja osoitusreaktioiden kulkukaavio liitteestä 2. Osoitusreaktioita havainnoimalla oppilaat voivat päätellä, mitä funktionaalisia ryhmiä heidän näytteensä mahdollisesti sisältää. Lisäksi kulkukaavion reittiä seuraamalla he saavat lukossa 2 tarvittavan kirjaimista ja numeroista koostuvan viisinumeroisen koodin.

Lukko 2

Lukkona 2 toimii ns. avaimen onginta. Pelitilassa on kaikille joukkueille yhteinen maljakko tai syvä pahvilaatikko, jonka päässä olevasta pienestä reiästä tulee ulos nippu lankoja. Lankojen näkyvissä oleviin päihin on kiinnitetty maalarinteippejä, joissa on viisinumeroisia kirjaimista ja numeroista koostuvia koodeja. Maljakon sisällä oleviin langanpäihin on kiinnitetty avainten lisäksi myös pieniä esineitä tuomaan painoa. Oikean narun valitsemalla laatikosta voidaan onkia esiin joukkueelle kuuluva avain, jota tarvitaan lukossa 3.

Lukko 3

Ongitun avaimen avulla joukkue pääsee avaamaan yhden heille merkityistä pelitilassa olevista lukituista kaapeista (tai laukuista). Kaapista löytyy nippu IR-spektrejä, joissa ei kuitenkaan lue yhdisteiden nimiä. Jokaisella joukkueella on erilainen nippu IR-spektrejä, ja spektrit on merkitty joukkueen värillä sekoittumisen estämiseksi.

Tehtävä 3

Tehtävässä 3 oppilaiden tulee tulkita kaapista löytyneitä IR-spektrejä: apuna tässä oppilaat käyttävät pelitilassa tarjolla olevia MAOL-taulukkokirjoja. Lisäksi työssä tarvitaan aikaisemmin penaalista löytynyttä lappua, johon oli kirjoitettu orgaanisten yhdisteiden nimiä. IR-spektrien sisältämiä piikkejä analysoimalla ja niihin kuuluvat funktionaaliset ryhmät tunnistamalla oppilaat voivat yhdistää spektrit aikaisemmin penaalista löytyneessä listassa esiintyneisiin yhdisteiden nimiin. Yksi spektreistä jää kuitenkin ilman nimeä, joten sen voi päätellä kuuluvan joukkueen mysteerinäytteelle. IR-spektriä tulkitsemalla oppilaat voivat myös vahvistaa osoitusreaktioiden aikana tekemänsä havainnot yhdisteen sisältämistä funktionaalisista ryhmistä.

Tehtävä 4

Tehtävässä 4 oppilaiden täytyy ensin hoksata, että mysteerinäytteen IR-spektrin reunassa olevassa numerosarjassa on jotain erikoista. MAOL-taulukkokirjaa tai esimerkiksi luokan seinällä riippuvaa jaksollisen järjestelmän julistetta hyödyntämällä numerosarja paljastuu alkuaineiden järjestysluvuista koostuvaksi koodiksi, joka on mahdollista muuntaa takaisin kirjaimiksi.

Lukko 4

Lukko 4 on ensimmäinen kaikkien joukkueiden yhteistyötä vaativa pulmatehtävä. Pelitilassa on ollut koko pelin ajan pelaajien käytettävissä tietokone, jossa on avoimena kaksi selainikkunaa. Toisessa ikkunassa on avoinna Google Forms -lomake, joka pyytää syöttämään neliosaisen salasanan. Kun kaikki joukkueet ovat ratkaisseet alkuainekoodin, voidaan ratkaistut sanat syöttää yhdessä lomakkeeseen joukkueiden värien mukaisesti. Tämä avaa joukkueiden nähtäville ”salaisen dokumentin”, joka sisältää joukon orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoja ja nimiä, joita kaikki joukkueet tarvitsevat tehtävän 5 ratkaisemiseksi. (Tietokoneen muu käyttö ei ole pakopelin aikana sallittua.)

Tehtävä 5

Tehtävässä 5 oppilaiden tulee tunnistaa, mikä salaisen dokumentin listalla olevista orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoista vastaa heidän mysteerinäytettään. Oppilaat ovat pelin aikana keränneet tietoa näytteensä sisältämistä funktionaalisista ryhmistä sekä osoitusreaktioita havainnoimalla, että IR-spektriä tulkitsemalla. Näiden tietojen avulla on mahdollista eliminoida muut listalla olevat rakennekaavat ja selvittää mysteerinäytteen nimi. Rakennekaavan avulla oppilaat voivat laskea yhdisteelle myös molekyylikaavan.

Viimeinen tehtävä

Kun kaikki joukkueet ovat saaneet ratkaistua omalle näytteelleen molekyylikaavan ja yhdisteen nimen, tulee heidän yhdessä syöttää ratkaisemansa tiedot tietokoneella toisessa ikkunassa avoimena olevaan Google Forms -lomakkeeseen, kukin joukkue omaan osioonsa. Molekyylikaavan sisältämien hiili-, vety- happi- ja typpiatomien lukumäärien ja yhdisteen nimen lisäksi lomakkeessa kysytään IR-spektrin reunassa ollutta numerokoodia. Kun kaikki joukkueet ovat onnistuneesti syöttäneet tietonsa lomakkeeseen ja lähettäneet sen, peli päättyy. Pelinohjaaja voi myös kerätä viimeisen tehtävän tiedot paperilapulla toisen Google Forms -lomakkeen sijaan, jolloin pelaajien palautettua kaikki laput pelinohjaajalle esimerkiksi oven alta sujauttamalla pelinohjaaja voi julistaa pelin päättyneeksi.

6.3. Pedagogisen pakopelin valmistelut

6.3.1. Tilan valmistelut

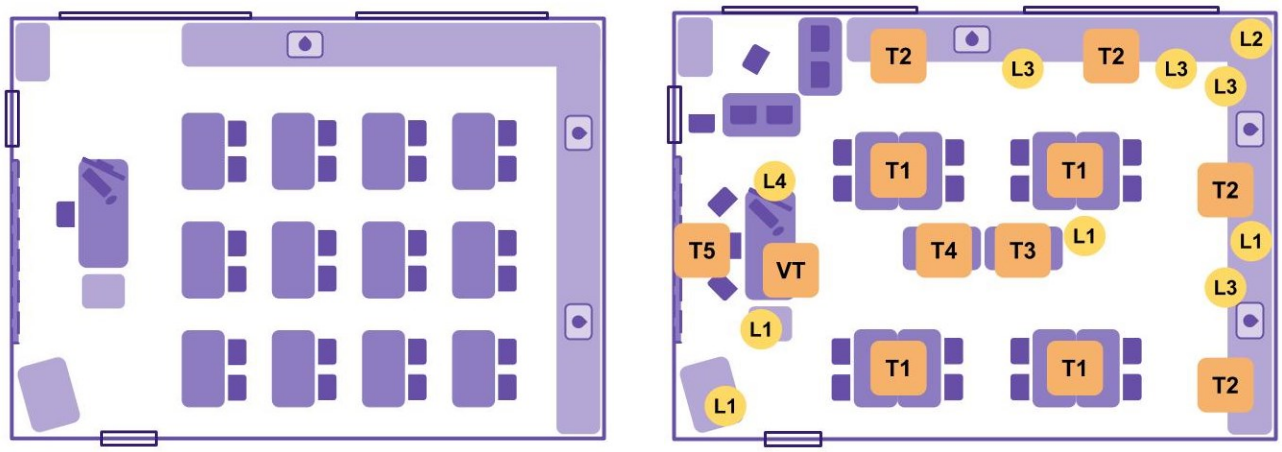
Pedagogisen pakopelin voi järjestää monenlaisissa tiloissa: pakopelin voi toteuttaa oman tai naapuriluokkahuoneen sijaan vaikkapa kirjastossa tai läheisellä nuorisotalolla. Lisäksi rastimaisia pedagogisia pakopelejä on toteutettu laajalla pelialueella sekä koulun sisä- että ulkotiloissa. Koulun ulkopuolella sijaitsevan pelitilan valinnassa kannattaa huomioida esteettömyys sekä mahdolliset siirtymät ja niihin kuluva aika. Todennäköisesti pedagoginen pakopeli järjestetään kuitenkin koulun sisällä luokkahuoneessa tai muussa vastaavassa tilassa, eikä tilan suhteen ole välttämättä paljoa valinnanvaraa. [19] Mistä tahansa tilasta voidaan kuitenkin muokata esimerkiksi valaistuksen ja yksinkertaisen, tilassa jo olevia huonekaluja hyödyntävän lavastuksen avulla pakopeliin ja sen teemaan sopiva, kunhan tila on tarpeeksi tilava pelin tarpeisiin ja pelaajien lukumäärään suhteutettuna. Jos tiloja on käytettävissä, voi samassa pedagogisessa pakopelissä hyödyntää myös useita eri tiloja: joukkueet voidaan jakaa esimerkiksi eri tiloihin, joista käsin he joutuvat silti tekemään yhteistyötä toisiaan näkemättä, tai uusi tila voi aueta pelaajille pelin edetessä. Tilasta toiseen siirtyminen luo pelaajille voimakkaan tunteen pelin etenemisestä, tapahtuipa siirtymä sitten tilasta toiseen tai vaikka toiselle sermein erotetulle alueelle saman tilan sisällä. Lisäksi mahdolliset immersiota rikkovat häiriötekijät kannattaa pyrkiä poistamaan tilasta: jos luokassa on esimerkiksi suuri ikkuna käytävälle, kannattaa se peittää esimerkiksi verhoilla tai sanomalehdillä. [5,6,12,19,33,35]

Toisin kuin kaupalliset pakopelit tai esimerkiksi museoiden ja kirjastojen järjestämät, pysyviin tiloihin sijoitetut kiinteät pakopelit, kouluissa järjestettävät pedagogiset pakopelit ovat yleensä ns. pop-up-pakopelejä, jotka voidaan pystyttää, purkaa ja asettaa uudelleen esille suhteellisen pienellä vaivalla aina kunkin pelin tai oppitunnin ajaksi. Tämä mahdollistaa pakopelin pystyttämisen uudelleen moniin erilaisiin tiloihin, jopa eri kouluihin, mutta tällöin pakopelissä käytettävien uniikkien lavasteiden ja rekvisiitan määrä ei voi olla kovin suuri. Mikäli tilana on oppilaille tuttu luokkahuone, tulisi pelin teeman mukaiseen lavastukseen ja rekvisiittaan toisaalta nimenomaan panostaa sen verran, että oppilaiden on helpompi uppoutua pakopelin maailmaan.[12] Pedagogisessa pakopelissä kannattaa hyödyntää mahdollisimman paljon jo valmiiksi pelitilasta löytyviä huonekaluja ja esineitä pelin lavastamiseen: luokkahuoneessa olevia pöytiä ja tuoleja siirtämällä ja esimerkiksi mahdollisia väliseiniä, muualta koulusta löytyviä sermejä tai katosta ripustettavia tummia verhoja ja lakanoita käyttämällä tuttukin luokkahuone voidaan muuntaa suhteellisen helposti teemaan sopivammaksi. Tuttuja esineitä voi myös käyttää yllättävällä tavalla immersion luomiseen: projektorin avulla voi heijastaa seinälle tai kattoon esimerkiksi teemaan liittyvän maiseman.[6,12]

Valitun tilan ja sen lavastuksen lisäksi myös valaistus ja äänimaailma vaikuttavat pedagogisen pakopelin immersiivisyyteen. Himmeä valaistus ja peitetyt ikkunat, vain tiettyä aluetta valaisevat yksittäiset lamput, pelaajille jaettavat taskulamput ja katosta roikkuvat värikkäät valoketjut ovat helppo tapa luoda jännittävää tunnelmaa ja muuntaa tuttu luokkahuone eri näköiseksi. Tunnelmavalais-

tus voi olla kuitenkin kaksiteräinen miekka: toisaalta himmeä valaistus luo tunnelmaa ja estää pelaajia huomaamasta kaikkia pelissä käytettäviä vihjeitä ja kohteita heti ensisilmäyksellä, mutta toisaalta pelaajien voi olla vaikeaa löytää tarvitsemiaan vihjeitä tai suorittaa tehtäviä.[11] Erityisesti kemian kokeellisessa työskentelyssä liiallinen hämäryys voi olla jopa työturvallisuusriski. Toinen hyvä tapa lisätä pedagogisen pakopelin tunnelmaa ja immersiivisyyttä on hyödyntää teemaan sopivaa, mahdollisesti jopa pelin edetessä tai juonen mukaan muuttuvaa taustamusiikkia sekä ääniefektejä. Taustamusiikkia valitessa kannattaa varmistaa, että kyseessä on aina *Creative Commons* -lisenssillä (CC) varustettu ns. lisenssivapaa kappale, jotta sen käyttö opetuskäytössä on sallittua.[5,6,11,12]

Tämän tutkimuksen kemian pedagoginen pakopeli suunniteltiin toteutettavaksi tavanomaisessa kemian luokassa, jossa on kokeellisen tehtävän suorittamista varten käytettävissä vähintään yksi, mutta mielellään useampi vesipiste. Tavoitteena oli suunnitella pakopelin lavastus mahdollisimman yksinkertaiseksi ja hyödyntää mahdollisimman paljon kemian luokassa jo valmiina olevia pöytiä, tuoleja ja tasoja. Kuvassa 45 on esitetty esimerkki siitä, kuinka tutkimuksessa suunniteltu kemian pedagoginen pakopeli olisi voitu toteuttaa tavallisessa kemianluokassa. Pelinohjaajan valvontanurkkaa varten pöytiä voi esimerkiksi pinota ja verhota tummalla lakanalla. Mikäli luokasta löytyy lukittuja kaappeja, niitä voi hyödyntää pakopelissä, mutta ne voi myös korvata esimerkiksi lukittavilla rasioilla, laatikoilla tai laukuilla.



Kuva 45. *Vasemmanpuoleisessa kuvassa on kolmella vesipisteellä, tietokoneella, videotykillä ja älytaululla varustettu 24 hengen kemianluokka normaalin opetuksen aikana. Oikeanpuoleisessa kuvassa on sama kemianluokka pakopelitilaksi muunnettuna: kuvaan on merkitty pulmatehtävien (T), lukkojen (L) ja viimeisen tehtävän (VT) mahdolliset sijoitus- ja suorituspaikat. Huomaa vasemmassa ylänurkassa sijaitseva, pöytien ja tuolien päälle levitettyjen lakanoiden avulla muusta luokasta nurkkaan eristetty pelinohjaajan valvontatila.*

Koska monet pakopeliin tehtävät vaativat visuaalista havainnointia ja peliin kuuluu myös kokeellista työskentelyä vaativa tehtävä, tulee luokassa olla riittävästi valoa tehtävien turvalliseen suorittamiseen: tästä syystä vain osa pelitilan valoista aiottiin hämärtää ikkunoiden peittämisen lisäksi, jotta kokeellisen työskentelyn alueella on tarpeeksi valoa. Tunnelmaa aiottiin hämärän valaistuksen sijaan lisätä teemaan sopivalla mysteerisellä taustamusiikilla, joka olisi muuttunut peliajan kuluessa pikkuhiljaa intensiivisemmäksi.

6.3.2. Materiaalit ja rekvisiitta

Kun pedagogisen pakopelin teema, juoni, rakenne ja pulmatehtävät on suunniteltu ja käytettävä tila on tiedossa, voidaan aloittaa pakopelissä tarvittavien materiaalien tuottaminen.[5,6,12] Materiaalien tuottaminen voi viedä yllättävän paljon aikaa, etenkin jos pelin pulmatehtävät vaativat toimiakseen itse tehtyä rekvisiittaa: tämä kannattaa huomioida pedagogisen pakopelin suunnitteluaikataulua laadittaessa. Lisäksi viimeistään tässä vaiheessa kannattaa aloittaa opettajan käyttöön tarkoitettujen pakopelin pelautusohjeiden sekä ns. set-up-listan eli tarkistuslistan kokoaminen. Tarkistuslistaan kootaan tiivistetyt ohjeet pelin uudelleenkasaamista varten eri joukkueiden välillä: siinä kannattaa listata esimerkiksi vihjeiden ja kohteiden sijainnit, kussakin pulmatehtävässä tarvittavat välineet, sekä muut esineet, joiden tulee olla paikallaan pelin alkaessa. Tarkistuslista etenee yleensä pelin lopusta alkuun päin: ensin laitetaan paikoilleen viimeiseen tehtävään liittyvät vihjeet ja lukitaan mahdolliset lukot, edeten käänteisessä järjestyksessä kohti ensimmäisen tehtävän ensimmäistä vihjettä. Näin on epätodennäköisempää, että jokin pelin osio jäisi vahingossa palauttamatta alkutilaansa. Pelautusohjeisiin puolestaan kootaan pakopelin kulkukaavio sekä kaikki vihjeet, kohteet ja tehtävät ratkaisuineen ja kuvauksineen. Suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä varten laadittu tarkistuslista löytyy pakopelin pelautusohjeista liitteestä 6.[5,6,12]

Pedagoginen pakopeli on mahdollista järjestää hyvin pienellä budjetilla. Monissa tutkimuksissa ja opinnäytetöissä mainittiin n. tunnin kestävän pedagogisen pakopelin toteutuksen olevan mahdollista jopa 30-40 euron budjetilla.[9,11,15,19,32] Yksi tapa pitää pedagogisen pakopelin budjetti pienenä on hyödyntää rekvisiittana mahdollisimman paljon esimerkiksi kotoa lainattuja, kirpputoreilta hankittuja, uusiokäyttöön tuunattuja tai itse tehtyjä esineitä. Jos pedagogista pakopeliä on aikomus pelauttaa useammankin kerran, voi sen rekvisiittaan olla perusteltua myös panostaa hieman enemmän rahallisesti. Parhaimmillaan kerran hyvin suunniteltua pedagogista pakopelikonseptia, sen osia tai sen rekvisiittaa voi hyödyntää uudelleen joko sellaisenaan tai pienillä muokkauksilla joko eri opintojaksolla tai vaikka eri oppiaineessa.[6] Materiaaleissa ja rekvisiitassa kannattaa suosia mahdollisimman kestäviä materiaaleja ja helposti korvattavissa olevia esineitä, etenkin jos pakopeliä aiotaan pelauttaa useampaan kertaan.[3,5,17,31] Erilaiset irtolukot sekä lukittavat rasiat, laukut ja muut esineet kuuluvat monen pedagogisen pakopelin hankintoihin ja niitä on myös helppo käyttää uudelleen.[30,32] Tilassa tulisi myös olla jonkinlainen kello tai muu tapa, jolla pelaajat voivat tarkkailla ajankäyttöään pelin aikana.[3,5,9,11,15,17,19,30-32]

Jo hyvin yksinkertaisilla teknisillä vimpaimilla voidaan tuoda pedagogisiin pakopeleihin lisää yllätyksellisyyttä ja luoda uusia innostavia elämyksiä oppilaille. Ohjeita erilaisten pedagogisiin pakopeleihin soveltuvien yksinkertaisten vimpaimien valmistamiseen löytyy internetistä sekä suomeksi että englanniksi, esimerkiksi Joensuun Mediakeskuksen *Pakopelit opetuksessa* -sivustolta.[28] Pedagogiseen pakopeliin ja sen pulmatehtäviin voidaan tuoda mukaan myös tieto- ja viestintäteknologiaa mielenkiintoisilla tavoilla, esimerkiksi vihjeinä tai perinteisten lukkojen sijaan kohteina käytettävien QR-koodien, muistitikkujen, salasanasuojattujen laitteiden tai Google Forms -lomakkeiden avulla. Teknologiaa hyödynnettäessä tulee kuitenkin aina varmistaa sen toimivuus ennen kunkin pelautuksen aloittamista. Lisäksi kannattaa miettiä jonkinlainen varasuunnitelma siltä varalta, että

teknologia pettää kesken pakopelin. Kannattaa myös pohtia sitä, sallitaanko oppilailta internetin käyttö oman älylaitteen kautta pakopelin aikana: toisaalta internet mahdollistaa monipuolisten tehtävätyyppien hyödyntämisen, mutta toisaalta oppilaat pystyvät todennäköisesti keskittymään pakopeliin paremmin ilman puhelimia. Jotta puhelimien tai tietokoneiden käyttö ei niin helposti rikkoisi pakopeliin vaivalla luotua immersiota ja virtaustilaa, tulee tietotekniikkaa sisällyttää pakopeliin mahdollisimman paljon koko joukkuetta osallistavalla tavalla ja vain pienissä määrin.[6,12,16,28]

Pedagogisten pakopelien suunnittelusta kirjoittanut Koiranen muistuttaa oppaassaan, että ”pieninkin resurssein tuotettu pelillinen pakopelikokemus on pelaajille hauska ja kiinnostava tapa oppia ja testata omia kykyjä”.[6] Tämä huomio on tärkeä pedagogisia pakopelejä suunnittelevalle: opetuskäyttöön suunniteltua pakopeliä ei kannata verrata esimerkiksi kaupallisiin pakopelituotantoihin, joilla on käytössään huomattavasti enemmän aikaa ja resursseja pakopelin toteuttamiseen. On tärkeämpää suunnitella mieluummin hieman yksinkertainen, mutta ennen kaikkea toteutuskelpoinen pedagoginen pakopeli. Joissain kaupallisissa pakopeleissä saatetaan käyttää hämäysesineitä, jotka eivät liity millään tapaa pakopeliin ja joiden tarkoituksena on vain johtaa pelaajia harhaan ja lisätä pelin haastavuutta.[3,5,6] Pedagogisissa pakopeleissä tällaisia hämäysesineitä ei yleensä suositella käyttämään, sillä oppimispakopelien tavoitteena on, että joukkueet saavat kaikki tehtävät käytyä läpi ja pääsevät pelin läpi.[6] Pelaajat saattavat erehtyä luulemaan jo ihan tavallisia, sattumalta tilassa olevia esineitä pelin kannalta merkityksellisiksi ilman erityisiä hämäysesineitäkin. Pedagogisen pakopelin rekvisiitta ja lavastus kannattaakin pitää mahdollisimman minimalistisena, jotta oppilaat pystyvät keskittymään pulmatehtäviin ja sitä kautta oppimisprosessiin: liiallinen tavaramäärä hankaloittaa oikeiden vihjeiden ja kohteiden erottamista. Lisäksi minimalistinen pedagoginen pakopeli on nopeampi ja helpompi pystyttää, resetoida pelikertojen välillä, ja purkaa. Kaikkien pakopeliin valittujen rekvisiittojen, lavasteiden ja työvälineiden tulisi jollain lailla oleellisesti tukea pelaajien pakopelikokemusta ja sopia valittuun teemaan: näin jokaisella esineellä on tarkoituksensa ja kaikki toimivat yhdessä pelaajien immersion lisäämiseksi.[3,5,6]

Suunniteltu kemian pedagoginen pakopeli haluttiin pitää rekvisiitaltaan mahdollisimman minimalistisena. Tehtävissä pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon jo valmiiksi kemian luokasta löytyviä esineitä, reagensseja ja työvälineitä. Esimerkiksi monen kemian luokan seinällä riippuu yleensä jo valmiiksi tehtävässä 4 tarvittava iso jaksollista järjestelmää kuvaava juliste. Lisäksi tehtävässä 5 IR-spektrien tulkintaan tarvittavat taulukot löytyvät valmiiksi MAOL-taulukkokirjasta: koska kyseessä on yleensä kemianluokasta löytyvä esine, eivät pelaajat myöskään välttämättä tajua kiinnittää kirjoihin huomiota ennen kuin niitä tarvitaan. Myös erilaisten lukkojen ja fyysisesti lukittavien kaappien ja laukkujen määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, sillä rinnakkaisessa toteutuksessa kaikkea tarvitaan joukkueiden määrän verran. Fyysisiä lukkoja pyrittiin mahdollisuuksien mukaan korvaamaan esimerkiksi Google Forms -lomakkeisiin laadituilla lukoilla, sekä erilaisten salasanojen ja koodien luovalla hyödyntämisellä pulmatehtävien suunnittelussa.

6.3.3. Työturvallisuus

Pakopeleihin liittyy usein virheellinen oletus siitä, että pelitila, josta pelaajat ”pakenevat” olisi oikeasti lukittu. Todellisuudessa näin ei kuitenkaan yleensä ole, vaan pakeneminen on enemmän symbolista: pelaajat voivat keskeyttää pelin ja lähteä pelitilasta milloin vain.[3] Lisäksi pakopelitilaa valvoo aina pelinohjaaja, jonka tehtävänä on pelaajien opastamisen ja vinkkien jakamisen lisäksi myös huolehtia pelaajien turvallisuudesta ja estää vaaratilanteiden syntyminen.[3,5,6] Vuonna 2019 sattui kuitenkin pakopelialalla harvinaislaatuinen ja traaginen onnettomuus, kun puolalaisessa pakohuonepelissä syttynyt tulipalo vaati viiden nuoren hengen. Tämän jälkeen kaupallisten pakopelien paloturvallisuuteen on kiinnitetty entistä enemmän huomiota ympäri Eurooppaa, myös Suomessa.[48] Pedagogisissa pakopeleissä on ehdottoman tärkeää huolehtia siitä, että pakopeliympäristö on pelaajille turvallinen pelin aikana: tästä syystä pelitilaa ei koskaan suositella lukittavaksi oikeasti pedagogisen pakopelin aikana.[6] Tämä tuskin haittaa pelaajien immersiota, sillä pakopeli tapahtuu ns. leikin taikapiirissä, jonka sisällä pätevät arkitodellisuudesta poikkeavat säännöt[20]: pelaajat sitoutuvat pelatessaan pelin sääntöihin ja pelimaailmassa vallitsevaan logiikkaan, jolloin esimerkiksi ”lukitun” oven avaaminen tai pelkillä sermeillä erotetulle alueelle meneminen ilman lupaa ei tunnu pelaajien mielestä loogiselle tai mielekkäälle.[3,5,6,12,15,20]

Kaupallisissa pakopeleissä pelinohjaaja valvoo pelin etenemistä erillisestä valvontahuoneesta valvontakameroiden avulla ja kommunikoi pelaajien kanssa esimerkiksi mikrofonin ja kaiuttimien kautta. Pedagogisissa pakopeleissä tällainen erillinen valvontahuone teknisine ratkaisuineen voi kuitenkin olla vaikeaa järjestää.[6] Mikäli pelitilan läheisyydestä löytyy valvontaan sopiva tila, esimerkiksi kemianluokan yhteydessä oleva kemikaalivarasto tai opettajan työskentelytila, voidaan pedagogisissa pakopeleissä käyttää esimerkiksi langattomia (tai hyvin pitkällä piuhalla varustettuja) mikrofonillisia web-kameroita pelitilan valvomiseen sen ulkopuolelta.[11] Pedagogisissa pakopeleissä voidaan kuitenkin päätyä myös vähemmän teknisiin ratkaisuihin: pakopelin etenemistä voidaan valvoa esimerkiksi verholla peitetyn lasioven tai ikkunan takaa kurkistellen, jolloin kommunikointi pelaajien kanssa sujuu esimerkiksi radiopuhelimen, älytaulun tai vaikka oven alta sujautettujen paperilappujen kautta. Pakopelitilan sisälle voidaan myös rakentaa esimerkiksi sermien tai lakanoiden avulla muusta pelitilasta eristetty valvontakoppi.[10] Opettaja voi tarkkailla pelin etenemistä myös avoimesti pelaajien kanssa samassa tilassa, esimerkiksi pakopelin juoneen ja teemaan sopivan roolihahmon kautta tai puhtaasti pelimaailman ulkopuolisessa pelinohjaajan ominaisuudessa.[9] Opettajan läsnäolo pelitilassa rikkoo kuitenkin herkästi pelaajien immersiota ja muistuttaa liikaa tavanomaista luokkaympäristöä, mikä voi lisätä suorituspaineita ja laskea oppilaiden aktiivisuutta ja omatoimisuutta.[6,15] Valvontatavasta huolimatta tärkeintä on, että opettaja pystyy valvomaan, ohjaamaan ja turvaamaan oppilaiden työskentelyä pedagogisen pakopelin aikana ja voi tarvittaessa keskeyttää tai puuttua peliin nopeasti vaaratilanteen uhatessa tai oppilaiden toiminnan niin vaatiessa. Opettaja on vastuussa oppilaiden turvallisuudesta pakopelin aikana, joten jonkinlainen näköyhteys ja kommunikaatiokanava pelaajiin olisi joka tapauksessa hyvä säilyttää.[6,9-11,15]

Suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä valvonta aiottiin toteuttaa alustavasti joko pelitilan sisälle sermeistä ja lakanoista rakennetun valvontakopin avulla. Mikäli luokassa ei ole tarpeeksi

tilaa valvontakopille, pohdittiin toisena vaihtoehtona valvontaa esimerkiksi jonkin pelitilan yhteydessä tai välittömässä läheisyydessä sijaitsevan tilan, kuten kemikaalivaraston, kautta web-kameran avulla. Pelitilan sisällä oleva valvontakoppi olisi web-kameraa käytännöllisempi ja vähemmän teknisiä haasteita sisältävä vaihtoehto, josta opettajan olisi myös helppo jakaa vinkkejä joukkueille ja tarvittaessa puuttua mahdollisiin vaaratilanteisiin nopeasti. Suunniteltuun kemian pakopeliin ei oikein sovellu tarinallisesti muiden kuin pelaajien läsnäolo pelialueella, joten pelin valvontaa samassa tilassa pelaajien kanssa esimerkiksi jonkinlaisen roolihahmon kautta ei harkittu. Myöskään täysin pakopelin ulkopuolista pelinjohtajaa ei haluttu tuoda pelialueelle, jotta pelaajien itseohjautuvuus, itsevarma työskentely ja pakopelin immersiivisyys voitaisiin säilyttää. Mikäli käytetyssä tilassa olisi jonkinlainen lasiseinä tai sisätiloihin vievä ikkuna, voitaisiin valvonta hoitaa sen kautta ja kommunikointi pelaajien kanssa esimerkiksi tilassa olevan tabletin ja pikaviestinohjelman avulla.

Suunnitellun kemian pedagogisen pakopelin aiottuna kohderyhmänä ovat lukio-opiskelijat, jotka ovat suorittaneet jo yhden tai useamman lukion kemian opintojakson. Heidän oletetaan tuntevan jo ennakkoon kemian laboratoriotyöskentelyyn liittyvät perusasiat, kuten suojavarusteiden käytön, laboratoriossa työskentelyn säännöt sekä kemikaalien turvallisen käsittelyn. Laboratoriotakkia, muovihanskoja ja suojalaseja ohjeistetaan käyttämään koko kemian pakopelin ajan. Työturvallisuuteen liittyviä asioita, tehtävissä käytettävien reagenssien käyttöturvallisuustiedotteita sekä pakopelin yleisiä sääntöjä käydään läpi ennen pakopelin alkua koko luokalle pidettävässä alkuohjeistuksessa. Kemian pedagogisen pakopelin tehtävät, erityisesti kokeellinen tehtävä 2, pyrittiin suunnittelemaan sellaisiksi, että ne eivät aiheuta vakavia vaaratilanteita edes virheellisesti suoritettuina. Funktionaalisten ryhmien osoitusreaktiot suoritetaan mahdollisimman pienillä määrillä reagensseja ja niihin on valittu käytettäväksi mahdollisimman myrkyttömiä, syövyttämättömiä ja paloturvallisia aineita. Opettajan etukäteen valmistamat reagenssit on jaettu myös mahdollisimman pieniin määriin ja merkitty selkeästi.

6.4. Pedagogisen pakopelin toteutus

6.4.1. Ennen peliä

Pedagogisen pakopelin testaaminen ennen sen pelauttamista oppilaille on ehdottoman tärkeää.[6,12,31] Mahdolliset pulmatehtävien tai materiaalien ajatusvirheet, tekniset haasteet, oikaisukohdat ja vaikeustason heilahtelut huomaa usein vasta testausvaiheessa. Peliä testatessa kannattaa tarkkailla, kuinka kauan pelin läpäisemiseen ja kuhunkin tehtävään kuluu aikaa: esimerkiksi suunnitteluvaiheessa yksinkertaiselta vaikuttanut pulmatehtävä voikin todellisuudessa olla pelaajalle huomattavasti monimutkaisempi ja hankalampi hoksata. Testauksen perusteella ehtii vielä tarvittaessa muokata pakopeliä hieman ennen sen pelauttamista oppilaille, esimerkiksi tarkentaa ohjeistuksia, lisätä vih-

jeitä pelitilaan tai miettiä lisää vinkkejä odottamattoman haastavaa kohtaa varten. Koiranen varoittaa kuitenkaan muuttamasta pakopelin vaikeustasoa liian rajusti vain yhden testikerran perusteella: pakopelin on tarkoituskin olla haastava ja pelinohjaajan pakopelin aikainen päätehtävä on auttaa pelaajia etenemään pelissä sopivien vinkkien avulla. Joskus muutostarpeet saattavat kuitenkin tulla selväksi vasta siinä vaiheessa, kun pakopeliä on pelattu jo useampia kertoja tai kun varsinainen kohderyhmä pääsee pelaamaan sitä. Muutoksia voi tehdä peliin tarpeen mukaan vielä testauksen jälkeenkin, esimerkiksi pelautusten välissä. Pelaajien etenemistä kannattaa tarkkailla pakopelin pelautuksen aikana, jotta esimerkiksi kaikille ryhmille haastavat tai aivan liian helpot tehtävät on helpompi tunnistaa.[6,12,31]

Valitettavasti tässä työssä suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä ei ollut mahdollista testata käytännössä. Alun perin tarkoituksena oli pelauttaa pakopeli joukolle kemian opettajaopiskelijoita maaliskuussa 2020, mutta pakopelin toteuttaminen peruuntui COVID-19 -pandemian vuoksi eikä testausta koskaan päästy suorittamaan. Vaikka varsinainen pelin testaus ei ollut mahdollista, yritettiin yksittäisiä pulmatehtäviä kuitenkin testata mahdollisuuksien mukaan tuttavien kanssa etäyhteyksien kautta. Saadun palautteen avulla tehtävien määrää ja sisältöä yritettiin muokata suunnitteluprosessin aikana yksinkertaistetummaksi ja selkeämmäksi. Myös pelin taustatarinaa ideoitiin ja kehiteltiin yhdessä tuttavien kanssa, jotta siitä saataisiin pakopelin pulmatehtäviä ja kokonaisuutta mahdollisimman hyvin tukeva. Koska tässä työssä suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä ei ole kuitenkaan testattu käytännössä, mikäli sitä haluaa hyödyntää opetuskäytössä, on erittäin suositeltavaa testauttaa se ensin esimerkiksi opettajakollegoilla erityisesti tehtäviin kuluvan ajan riittävyyden ja kokeellisen työn toimivuuden varmistamiseksi.

Hetket juuri ennen pakopelin alkua ovat yleensä täynnä jännitystä ja innostunutta odotusta. Kortesuo puhuu ns. pre-game -kokemuksen luomisesta ja kehottaa pakopelien suunnittelijoita pohtimaan itse pelin tunnelman lisäksi myös sitä, kuinka pelin tarina ja säännöt esitellään pelaajille ennen pakopelin alkua: luetaanko taustatarina ääneen, katsotaanko se yhdessä videolta vai saako jokainen joukkue oman mysteerisen kirjekuorensa?[5] Pedagogisissa pakopeleissä ennen peliä pidettävä, usein kaikille yhteinen alkuinfo (*brief*) on erityisen tärkeä, jotta oppilailla on selkeä kuva siitä, mikä on pakopelin tarkoitus, mitä pelaajilta pakopelin aikana odotetaan ja mitkä heidän tavoitteensa ovat pelin aikana. Tavoitteiden selkeä määrittely heti pelin alussa edesauttaa keskittymistä ja virtaustilaan pääsemistä. [14] Alkuinfossa voi pakopelin sääntöjen ja yleisten toimintaohjeiden lisäksi tuoda esiin myös pakopeliin liittyviä oppimistavoitteita, esimerkiksi kannustaa oppilaita yhteistyöhön, havainnointiin ja luovaan ongelmanratkaisuun. Alkuinfossa on tärkeää kertoa oppilaille myös se, kuinka pelinohjaajalta pyydetään vinkkejä pelin aikana ja kannustaa oppilaita vinkkien pyytämiseen. Kemian pedagogisissa pakopeleissä alkuinfossa on tärkeää sisällyttää myös työturvallisuutta koskeva osio. Mikäli suunniteltu kemian pedagoginen pakopeli olisi voitu järjestää, olisi sen alkutilaisuudessa avattu ensin pakopelin toimintaa, korostettu yhteistyön ja kemian tietojen ja taitojen soveltamisen merkitystä, kerrottu pakopelin säännöt, käyty läpi työturvallisuuteen ja vinkkien pyytämiseen liittyviä ohjeita, jaettu oppilaat ryhmiin ja lopuksi annettu joukkueille pelin taustatarinaan liittyvää materiaalia pelin aloitusta varten.[5,6,9,11,14,33]

Pedagogisen pakopelin sääntöjen läpikäyminen yhdessä oppilaiden kanssa on tärkeää, jotta oppilaat tietävät mitä heiltä odotetaan.[30] Pakopelit eivät ole välttämättä kaikille oppilaille tuttuja, joten pakopelien yleisiä toimintatapoja, valvontaa ja sääntöjä on hyvä käydä läpi, jotta peli sujuisi ongelmitta ja kaikki pääsevät uppoutumaan peliin. Oppilaita on hyvä muistuttaa mm. siitä, ettei pelin tavoitteena ole oikeasti tarkoitus paeta tilasta, vaan että pelissä on tarkoitus suorittaa pulmatehtäviä ja saavuttaa pelille asetettu tavoite. Yhteistyön, kommunikaation, havainnoinnin, luovan ajattelun ja aiempien tietojen ja taitojen soveltamisen merkitystä pulmatehtävien suorittamisessa kannattaa korostaa, jotta oppilaat osaavat orientoitua pakopelissä tarvittavaan aktiiviseen, kokeilevaan ja tutkivaan työskentelyyn.[11] Oppilaita kannattaa myös muistuttaa siitä, että mitään ei tarvitse rikkoa pulmatehtävien ratkaisemiseksi, ja että arvaamisen tai hosumisen sijaan tehtävät kannattaa aikarajasta huolimatta yrittää suorittaa huolellisesti loppuun asti.[35] Mikäli pakopeli pelautetaan yhdelle joukkueelle tai vain osalle joukkueista kerrallaan, kannattaa säännöissä myös pyytää pelaajia pitämään pakopelin sisältö salaisuutena, kunnes kaikki ovat suorittaneet pakopelin. Kilpailullinen asetelma voi vähentää riskiä pakopelin sisällön paljastumisesta muille joukkueille.[35] Säännöt kannattaa yrittää pitää mahdollisimman lyhyinä, jotta oppilaiden on helppo omaksua ja muistaa ne pakopelin aikana, ja pyrkiä kannustamaan ja rohkaisemaan oppilaita pelkkien kieltojen sijaan.[5,6,12] Kuvaan 46 on koottu sääntöjä, jotka kemian pedagogiselle pakopelille oli ehditty suunnitella.[5,6,11,12,30,35]

Pakopelin säännöt

- Tutkikaa pelialuetta rohkeasti ja ajatelkaa **kemiallisesti.**
- Voimaa **ei** tarvitse käyttää - järjen käyttö sallittu!
- **Arvaamisen sijaan** tehtävät kannattaa tehdä huolella loppuun.
- Muistakaa **huolellisuus** kokeellisessa työskentelyssä!
- Muita ei saa häiritä, mutta **yhteistyö** on voimaa!
- Muistakaa, että aina voi pyytää **vinkkejä**!
- Peliin kuulumattomat esineet on merkitty teipillä.
- Älä tuo mitään huoneeseen, älä vie mitään pois.
- **Vinkki!** Kootkaa kaikki löydetyt vihjeet ja avatut lukot samaan paikkaan - näin ne eivät unohdu taskuun.

Kuva 46: *Suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä varten laaditut säännöt.*

6.4.2. Pelin aikana

Pedagoginen pakopeli voi olla monelle oppilaalle uusi tilanne, joten pelin alussa on luonnollista, että kestää hetki ennen kuin oppilaat saavat kiinni pakopelin ideasta ja pääsevät vauhtiin. Virtaustilaan päästyään suurin osa oppilaista työskentelee yleensä innokkaasti, mutta aina on niitäkin oppilaita, jotka eivät välttämättä innostu työskentelystä ja saattavat pahimmillaan rikkoa muiden immersiota tai hidastaa joukkueen työskentelyä merkittävästi.[12] On myös mahdollista, että joukkueen ryhmädynamiikka ei toimi: muutama oppilas voi alkaa dominoida pulmatehtävien ratkaisemista tai ei muuten kuuntele ohjeita.[9] Vaikka pakopelin keskeyttäminen ei ole mielekästä, pedagoginen pakopeli on loppujen lopuksi kuitenkin oppimistilanne: opettajan velvollisuutena on tarkkailla oppilaiden toimintaa, tunnetiloja ja ryhmädynamiikkaa pakopelin aikana ja tarvittaessa puuttua mahdolliseen häiritsevään käytökseen niin, että mahdollisimman moni oppilas pystyisi saavuttamaan virtaustilan ja hyötymään tehokkaasti oppimisprosessista.[6,9,12]

Vinkkien antaminen ja oppilaiden ohjeistaminen pakopelin aikana vaatii opettajalta samaa tasapainoilua ja tilannetajua, mitä oppilaan työskentelyn ohjaaminen yleensäkin vaatii: toisaalta oppilaille tulee tarjota tarpeeksi tukea ja ohjeistusta heidän sitä pyytäessään, mutta toisaalta oppilaiden pitää malttaa antaa tutkia ja kokeilla itse, välillä myös epäonnistua.[12] Myös virtaustilaan pääseminen edellyttää, että tehtävien haastavuus ja oppilaan omat kyvyt ovat tasapainossa.[6] Sopivalla rohkaisulla ja hyvin valituilla, sopivan epämääräisillä vinkeillä oppilaiden on mahdollista ratkaista hyvinkin monimutkaisia ja haastavia tehtäviä ja saada erityisen palkitsevia onnistumisen kokemuksia. Monesti pelaajat alkavat luonnostaan analysoida ja käydä kriittistä, analyyttistä keskustelua käsitellyistä aiheista pakopelin aikana, mutta opettaja voi myös kannustaa ja tukea tällaisten keskustelujen syntymistä ohjeistusten ja vinkkien avulla.[33] Vinkeistä huolimatta pedagogisen pakopelin tavoitteena on kuitenkin ensisijaisesti tukea oppilaiden itsenäistä työskentelyä sekä säilyttää kokemus pelaajan oman ajattelun ja toiminnan merkityksellisyydestä.[6,12,15] Opettajan tulisi aktiivisesti puuttua pelin kulkuun lähinnä silloin, jos peli ei etene lainkaan tai pelaajat alkavat turhautua ja virtaustila uhkaa purkautua – tai jos pelaajien turvallisuus on uhattuna.[3] Pedagogisissa pakopeleissä vinkit ja ohjeistukset suositellaan annettaviksi suorien vastausten tai toimintaohjeiden sijaan kysymysmuodossa oppilaiden oman pohdinnan ja havaintojen tekemisen tukemiseksi: pelin aikana saadulla positiivisella palautteella ja kannustavasti muotoilluilla vinkeillä voidaan myös motivoida oppilaita. Vinkkejä voi olla mahdollista miettiä myös pakopelin teemaan sopiviksi, mutta vaikeasti ymmärrettäviä tai harhaanjohtavia vinkkejä tulisi välttää.[5,6] Vinkkien jakamisessa voi hyödyntää suullisten ohjeistusten tai paperilappujen sijaan esimerkiksi älytaulua, videotykkiä, älylaitteita tai muuta teknologiaa: suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä vinkkejä oli tarkoitus jakaa kohdistetusti eri joukkueille joko lappujen tai jonkinlaisen älylaitteen avulla. Tärkeintä on, että vinkkejä annetaan riittävästi ja tarvittaessa niitä myös helpotetaan sen verran, että kaikki joukkueet ehtivät saada pakopelin oppimissisällöt käytyä läpi, kaikki tehtävät tehtyä ja saavat läpäistyä pelin tai pääsevät vähintään sen loppusuoralle.[3,5,6,12,15,33]

Pelin päättymispistettä kannattaa pohtia jo hyvissä ajoin etukäteen suunnitteluvaiheessa: pelaajille tulee olla selvää, missä vaiheessa tavoite on saavutettu ja peli on päättynyt. Jos samassa tilassa pe-

laa yhtä aikaa useita joukkueita, voi esimerkiksi jonkinlaisen kaikkien joukkueiden yhteistyötä vaativan lopputehtävän sisällyttäminen olla hyvä tapa kannustaa yhteistyöhön pelin aikana: näin olisi toimittu esimerkiksi suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä. Yhteisen lopetuksen avulla vältytään myös immersion rikkoontumiselta, kun joukkueet poistuvat pelitilasta yhtä aikaa. Mikäli opettaja on pelin aikana roolihahmossa, joka on pelaajien kanssa samassa pelitilassa, voi opettaja ilmoittaa pelin päättymisestä esimerkiksi sen jälkeen, kun tietty tehtävä on hyväksytysti suoritettu.[9] Mikäli pelin päättyminen tapahtuu esimerkiksi tietyn lukon avaamisen, esineen löytämisen tai Google Forms -lomakkeen lähetyksen kautta, tulee pelin päättyminen tehdä mahdollisimman selkeäksi oppilaille pelille asetetun tavoitteen kautta. Pedagogisen pakopelin aikana ei saisi mielellään tulla liian kiire, jotta oppilaat pystyvät keskittymään pulmatehtäviin rauhassa ja pääsevät virtaustilaan. Aikaraja tuo pientä jännitystä peliin, kannustaa oppilaita tarkkailemaan ajanhallintaansa ja tekemään rohkeasti päätöksiä, mutta voi toisaalta myös tuottaa stressiä tai lannistaa osaa oppilaista. Opettaja voi ohjata pelaajien ajankäyttöä jonkin verran vinkkien ja ohjeistusten kautta.[6,12] Mikäli aika uhkaa loppua kesken, voi opettaja oman harkintansa ja aikataulun salliessa antaa joukkueille myös hieman lisäaikaa esimerkiksi jonkin pelin juoneen sopivan tekosyyn varjolla, jotta pakopeli ja sen oppimissisällöt saadaan suoritettua loppuun.[6,9,11,12]

6.4.3. Pelin jälkeen

Pedagogisessa pakopelissä ns. purkukeskustelulla (*debrief*) on oppimisprosessin kannalta yhtä suuri merkitys kuin itse pakopelillä: oppilaat pääsevät reflektoimaan omaa toimintaansa ja oppimistaan rauhassa opettajan tuella, mikä tukee syvällisempää ja merkityksellistä oppimista.[3,6,17,19,32] Pedagogisten pakopelien purkukeskustelussa oppilaiden kanssa on mahdollisuus käydä läpi paitsi pulmatehtävien ratkaisuja ja pakopelin aikana kohdattuja haasteita, mutta myös oppilaiden tekemiä oivallisia havaintoja, luovia ratkaisuja, tiimityöskentelyä ja muita onnistumisen kokemuksia.[11] Purkukeskustelussa opettajan on mahdollista tukea oppilaita oman osaamisensa tunnistamisessa ja auttaa oppilaita yhdistämään pakopelin aikana opittuja, harjoiteltuja ja koettuja asioita laajempiin konteksteihin ja ilmiöihin.[6,32] Kemian pedagogisissa pakopeleissä on tärkeää pohtia oppilaiden kanssa sitä, kuinka pakopelin pulmatehtävät liittyivät kemian oppimissisältöihin, mitä kemian tietoja ja taitoja niiden ratkaisemiseen vaadittiin, ja auttaa oppilaita tunnistamaan omaa kemian osaamistaan: oppilaiden voi olla usein vaikea hahmottaa omaa kemian osaamistaan konkreettisesti ilman opettajan apua.[8] Myös yhteistyön ja sosiaalisten taitojen merkitys pakopelin aikaiselle menestyksekkäälle toiminnalle voi jäädä oppilailta helposti huomaamatta ilman purkukeskustelua. Purkukeskustelussa on hyvä käydä läpi myös pakopelin aikana mahdollisesti ilmenneitä ryhmädynamiikkaan tai oppilaiden väliseen vuorovaikutukseen liittyneitä haasteita, jotta mahdolliset ristiriidat ja hankalat tilanteet tulevat selvitetyiksi.[6] Opettajan olisi tärkeää jakaa purkukeskustelun aikana kaikille joukkueille ja pelaajille jonkinlaista positiivista ja kannustavaa palautetta pelin aikana tehdyistä valinnoista, toiminnasta ja havainnoista oppilaiden minäpystyvyyden tukemiseksi: oppilaita voi myös kannustaa antamaan toisilleen positiivista palautetta. Purkukeskustelulle on hyvä varata riittävästi aikaa: esi-

merkiksi suunnitellussa kemian pedagogisessa pakopelissä toinen 45 minuutin oppitunneista olisi varattu kokonaan pakopelin purkukeskustelulle. [3,6,8,9,11,15,17,19,32]

Ihanteellista olisi pitää purkukeskustelu heti pakopelin jälkeen, mutta mikäli tämä ei esimerkiksi lukujärjestyksen vuoksi ole mahdollista, voi oppilailta kerätä välitöntä palautetta heti pakopelin jälkeen esimerkiksi lyhyen tai vapaamuotoisen palautekyselyn avulla, ja pitää varsinaisen syvällisemmän purkukeskustelun seuraavalla mahdollisella oppitunnilla. Pedagogisen pakopelin järjestäminen on yleensä oppimiskokemus myös opettajalle, joten oppilailta kannattaa pyytää mahdollisuuksien mukaan tarkempaa palautetta pedagogisesta pakopelistä pelikokemuksena: esimerkiksi pulmatehtävien kiinnostavuuteen ja vaikeustasoon, ajan riittävyyteen, vihjeiden löydettävyyteen, ohjeiden selkeyteen, vinkkien hyödyllisyyteen, pakopelin immersiivisyyteen, erityisiin onnistumisen kokemuksiin ja mahdollisiin ongelmakohtiin liittyvä palaute on hyödyllistä tulevia pedagogisia pakopelejä suunniteltaessa ja jo suunniteltua pakopeliä uudelleen pelautettaessa. Purkukeskustelussa voidaan opettajajohtoisen reflektion, keskustelun ja palautteen lisäksi hyödyntää esimerkiksi erilaisia syventäviä tehtäviä, joilla pakopelin aikana käsiteltyjen oppimissisältöjen omaksumista voidaan tehostaa.[33] Tehtävien avulla voidaan myös tarvittaessa tuoda konkreettisemmin esiin pakopelin aikana tapahtunutta oppimista, joko oppilaan oman osaamisen tunnistamisen tukemiseksi tai arvioinnin apuvälineeksi.[9,16,17,33]

Mikäli pakopeli pelautetaan jokaiselle joukkueelle erikseen, on joukkueiden välille hyvä jättää n. 5-10 minuuttia aikaa pelitilan resetointiin eli nollaamiseen: kaikki vihjeet, kohteet, tehtävien osat ja muut esineet palautetaan lähtöasemiinsa, lukot lukitaan takaisin paikoilleen ja kokeelliset työpisteet siivotaan ja valmistellaan uusia pelaajia varten. Erityisesti kokeellista työskentelyä sisältävissä kemian pedagogisissa pakopeleissä pakopelin nollaamiseen voi kulua yllättävän paljon aikaa. Tarkistuslistan avulla varmistetaan, että kaikki esineet ovat paikoillaan, kaikki pakopelin lukot ja muut osat toimivat, ja pelaajien on mahdollista läpäistä peli ongelmitta.[5,6,12] Kun viimeinen joukkue on lähtenyt pelitilasta – tai viimeistään siinä vaiheessa, kun purkukeskustelut on käyty – on aika purkaa itse pakopeli. Mikäli pakopeliä on tarkoitus pelauttaa uudelleen tulevaisuudessa, kannattaa sen materiaalit, ohjeet ja rekvisiitta pakata vaikka omaan laatikkoonsa tai laukkuunsa.[27] Kompaktiin tilaan mahtuvaa ja helposti liikuteltavaa pakopelipakettia voi olla parhaimmillaan mahdollista lainata eteenpäin esimerkiksi muille opettajille.[5,6,12,27]

7. Johtopäätökset

Pedagogisissa pakopeleissä on mielestäni runsaasti potentiaalia innostavaksi ja motivoivaksi kemian pelillistetyksi oppimisympäristöksi. Aikaisempien tutkimusten perusteella pedagogiset pakopelit vaikuttaisivat soveltuvan jo opittujen asioiden kertaamisen lisäksi myös uusien asioiden oppimiseen, valittujen taitojen harjoitteluun tosielämää simuloivissa tilanteissa, sekä oppilaiden osaamisen laaja-alaisempaan arviointiin. Pedagogiset pakopelit vaikuttaisivat olevan myös monipuolisesti sovellettavissa useille koulutusasteille ja erilaisten kohderyhmien tarpeisiin.

Pedagogisten pakopelien avulla on mahdollista käsitellä hauskalla, motivoivalla ja konkreettisella tavalla sellaisiakin kemian aiheita, joita oppilaiden voi olla tavanomaisen opetuksen kautta käsiteltyinä hankala ymmärtää, esimerkiksi IR-spektroskopia. Virtaustilaan pääseminen immersion, pelillisten elementtien tai esimerkiksi kilpailullisuuden avulla mahdollistaa tehokkaan, keskittyneen ja palkitsevan oppimiskokemuksen. Pedagogiset pakopelit mahdollistavat tavanomaisesta kemian opiskelusta poikkeavan oppilaslähtöisen, aktiivisen oppimisen ja soveltuvat erinomaisesti ilmiöoppimisen ja monialaisen oppimisen kokonaisuuksiin, sillä niissä aiheita on mahdollista käsitellä kriittisesti monesta eri näkökulmasta laajemmissa konteksteissa. Pedagogiset pakopelit tukevat myös oppilaiden omaa pohdintaa sekä ymmärrystä omista vahvuuksistaan, kemian tiedoistaan ja taidoistaan, ja mahdollistavat kemian teoreettisen sisällön asettamisen laajempaan jokapäiväisen elämän kontekstiin. Pedagogiset pakopelit kannustavat oppilaita tutkivaan ja kokeilevaan oppimiseen sekä oppilaan aiempien tietojen ja taitojen soveltamiseen luovaa ongelmanratkaisua ja ajattelua hyödyntäen, mikä on tärkeää kemian kokeellisuuden kannalta. Ne tarjoavat oppilaille mahdollisuuden tarttua rohkeasti ongelmiin, tarkastella niitä kriittisesti monesta näkökulmasta, kokeilla erilaisia lähestymistapoja ja ratkoa niitä luovalla tavalla epäonnistumisia pelkäämättä. Lisäksi pedagogisten pakopelien aikana harjoitellaan monia työelämän kannalta tärkeitä taitoja: yhteistyö-, vuorovaikutus- ja neuvottelutaitoja, sekä ajanhallintaa ja paineensietokykyä.

Pedagogisten pakopelien hyödyntämiseen kemian opetuksessa liittyy kuitenkin muutamia käytännön haasteita. Tiukkojen opetusaikataulujen, suurien opetusryhmäkokojen ja käytettävissä olevien rajoitettujen tilojen ja resurssien lisäksi haasteita asettavat myös pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessin vaatima aika sekä kemian oppimistavoitteiden ja -sisältöjen sisällyttäminen pakopeliin tavalla, joka on silti oppilaille motivoiva, innostava ja virtaustilaa tukeva. Pedagogisen pakopelin suunnittelu opettajan työn ohella voi olla haastavaa, joten suositeltavaa on tehdä yhteistyötä muiden opettajien kanssa, tai hyödyntää suunnittelussa esimerkiksi valmiina saatavilla olevia materiaaleja. Ryhmäkokoihin ja aikataulutukseen liittyviä haasteita voidaan yrittää ottaa huomioon huolellisen suunnitteluprosessin avulla, esimerkiksi pakopelin rakenteen valinnan kautta. Oppimistavoitteisiin sopivien pulmatehtävien suunnittelu, teemaan sopivan rekvisiitan hankkiminen ja materiaalien laatiminen voivat viedä aikaa, joten pakopeli kannattaa pitää yksinkertaisena. Kemiassa kokeellisen

työskentelyn työturvallisuuteen ja valvontaan pakopelin aikana tulee kiinnittää erityistä huomiota suunnitteluvaiheessa. Oppilaiden aktiivisen, itseohjautuvan työskentelyn tukemisen ja toisaalta pakopelissä etenemisen mahdollistamisen välillä tasapainottelu vinkkejä ja ohjeistusta antamalla vaatii opettajalta myös pelisilmää.

Osana tätä tutkimusta suunniteltiin ennalta määritettyjen reunaehtojen mukaisesti pedagoginen pakopeli lukion orgaanisten yhdisteiden kemian opetukseen. *EscapED* -viitekehys toimi hyvin kemian pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessin suuntaviivoina. Reunaehtojen täyttäminen oli aluksi yllättävän haastavaa: vaati paljon ajatustyötä, jotta pakopelin rakenteesta saatiin reunaehdoissa määritettyyn ryhmäkokoon ja aikatauluun sopiva. Kun lineaarisen rakenteen rinnakkaiseen toteutukseen oli lopulta päädytty, sujui suunnitteluprosessi kuitenkin huomattavasti helpommin muiden reunaehtojen huomioimisen osalta. Rinnakkaisen toteutustavan valinta tarkoitti kuitenkin sitä, että käytettävien resurssien määrään tuli kiinnittää pakopelin suunnittelussa erityistä huomiota: kun samassa tilassa pelaa useita joukkueita, jokainen tarvitsee esimerkiksi omat lukkonsa ja kokeelliset työvälineensä.

Asetettujen reunaehtojen täyttämisen lisäksi haastavimmiksi osa-alueiksi kemian pedagogisen pakopelin suunnitteluprosessissa osoittautui hieman yllättäen pakopelin aiheeseen sopivan, mutta oppilaita kiinnostavan teeman ja juonen kehittäminen. Aluksi tavoitteena oli luoda kokemukseltaan mahdollisimman immersiivinen ja täten virtaustilaa tehokkaasti tukeva pedagoginen pakopeli, joten suunnittelutavoitteeksi asetettiin pulmatehtävien kautta etenevä juoni, jossa pulmatehtävät ja juoni olisivat tukeneet toisiaan. Lopulta päädyttiin kuitenkin syvän tarinallisen immersion sijaan kemian oppimissisältöä mahdollisimman hyvin pakopeliin sisällyttävään opetuksellisempaan kokemukseen: tästä syystä pakopeliin valittiin kehystarina, jossa pulmatehtävät liittyvät kyllä teemaan ja osittain myös juoneen, mutta niiden ratkaiseminen ei konkreettisesti edistä juonta. Itse oppimistavoitteisiin sopivien pulmatehtävien laatiminen oli yllättävän helppoa, ja erilaisten mielenkiintoisten, pelillistettyjen toteutustapojen ideoiminen oli myös opettajan näkökulmasta mielekästä ja hauskaa. Rinnakkaisen toteutuksen yhtenä haasteena oli suunnitella pakopelin tehtävät sellaisiksi, että oppilaat eivät pysty kopioimaan ratkaisuja muilta. Materiaalien tuottaminen oli odotusten mukaan aikaa vievää, mutta toisaalta tehtävien valinnalla voi vaikuttaa laadittavien materiaalien määrään. Tehtävien kulkukaaviota jouduttiin muokkaamaan useampaan kertaan suunnitteluprosessin aikana, mikä aiheutti hieman lisätyötä, mutta toisaalta kriittisen tarkastelun lopputuloksena oli virtaviivaisempi ja toivon mukaan myös käytännössä helpommin toteutettava kemian pakopeli.

Erityisen haasteellista suunnitteluprosessin kannalta oli, ettei suunniteltua kemian pedagogista pakopeliä ollut mahdollista testata kunnolla käytännössä keväällä 2020 alkaneen COVID-19 -pandemian vuoksi. Pakopelin kokonaisuuden testaamisen lisäksi myös yksittäisten pulmatehtävien testaaminen olisi ollut tarpeen, mutta tämä osoittautui yllättävän hankalaksi suorittaa edes etäyhteyksien avulla. Testaamisen puute tuotti epävarmuutta ja hankaloitti muuten hyvin miellyttävää ja helposti sujunutta pulmatehtävien suunnitteluprosessia: tehtävien vaikeustason ja niihin kuluvan ajan arvioiminen sekä sopivan suoritusjärjestyksen päättäminen osoittautuivat erityisen haastaviksi testausmahdollisuuden puuttuessa. Mahdollisia pakopelin aikaisia ongelmakohtia ja vinkkitarpeita

yritettiin parhaan mukaan ennakoida ilman testausta, mutta testipelin kautta erilaiset ongelmakohdat ja suunnittelun aikana tapahtuneet ajatusvirheet olisivat tulleet nopeammin ja selkeämmin esille.

Kuten itse tutkimuksen aikana havaitsin, kemian pedagogisen pakopelin suunnittelu voi olla aikaa vievä ja välillä haastavakin prosessi, mutta se on toisaalta myös hyvin palkitsevaa. Vaikka suunniteltua pedagogista pakopeliä ei päästy testaamaan nyt käytännössä, olen silti kiinnostunut hyödyntämään sitä kemian opetuksessa. Suurin pohjatyö on suunnitteluprosessin osalta jo tehty, joten laadittua orgaanisten yhdisteiden kemian pakopeliä pitäisi olla helppo muokata tulevaisuudessa kohderyhmälle sekä käytössä oleville resursseille ja aikataululle sopivaksi. Suosittelen lämpimästi kokeilemaan oman kemian pedagogisen pakopelin suunnittelua joko yksin tai yhteistyössä muiden opettajien kanssa, tai vaikka hyödyntämään pakopelimäisiä elementtejä episodimaisesti tavanomaisen kemian opetuksen pelillistämiseksi ja piristämiseksi. Pedagogista pakopeliä voi myös kokeilla suunnitella yhdessä oppilaiden kanssa.

Jään mielenkiinnolla odottamaan lisää Suomessa tehtyä tutkimusta kemian pedagogisten pakopelien hyödyntämisestä eri koulutusasteilla, esimerkiksi yläkoulun kemian opetuksessa tai yliopistossa. Myös kemian pakopelien soveltuvuudesta erityisesti uusien asioiden oppimiseen, tai pakopelin hyödyntämisestä esimerkiksi laboratoriotyöskentelyn käytännön kokeena olisi kiinnostavaa nähdä lisää tutkimusta. Lisäksi olisi yleisesti ottaen kiehtovaa seurata, millaisten kemian aihekokonaisuuksien ympärille kemian pedagogisia pakopelejä laaditaan tulevaisuudessa ja millaisia uusia innovatiivisia pulmatehtäviä ja käytännön ratkaisuja niissä tullaan hyödyntämään: etenkin suunnitellussa kemian pakopelissä hyödynnetyn, rinnakkaisena toteutetun lineaarisen rakenteen toimivuudesta käytännössä olisi kiehtovaa saada tutkimustuloksia.

8. Viitteet

(1) *PISA 18 Ensituloksia. Suomi parhaiden joukossa.*; Leino, K.; Ahonen, A.K.; Hienonen, N.; Hiltunen, J.; Lintuvuori, M.; Lähteinen, S.; Lämsä, J.; Nissinen, K.; Nissinen, V.; Puhakka, E.; Pulkkinen, J.; Rautopuro, J.; Sirén, M.; Vainikainen, M-P.; Vettenranta, J.; Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja 2019:40: Helsinki, 2019; s. 34–39, 47–48 ja 57–61. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161922 (avattu 26.5.2020).

(2) Tuomisto, M. *Oppimispelit kemian perusopetuksessa.* Helsingin yliopisto. **2015**, s. 1–100. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015060810051 (avattu 25.2.2020).

(3) Nicholson, S. Peeking Behind the Locked Door - A Survey of Escape Room Facilities. **2015**. s. 1–35. http://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf (avattu 25.2.2020).

(4) *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019.*; Opetushallitus. Määräykset ja ohjeet 2019:2a: Helsinki, 2019; s. 58–60 ja 258–266. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf (avattu 25.2.2020).

(5) Kortesuo, K. *Pakohuone – suunnittele, toteuta, pakene.*, 1. painos; Karisto: Tallinna, 2018; s. 1–141.

(6) Koiranen, J. *Pedagogiset pakopelit: opas.*, 1. painos; Ääres eduEscape: Helsinki, 2019; s. 1–204.

(7) *Suomen pakopelit.*; Pekki, P. https://www.pakopelit.fi/ (avattu 26.5.2020)

(8) Ollikainen, R. *Pako kemian luokasta - motivaatiota kemian opiskeluun - Ohjeet kemian pakohuoneen rakentamiseen*. Helsingin yliopisto. **2017**, s. 1–29.

(9) Koivusalo, S.; Lindholm, J.; Lindqvist, E. Lumottu pakohuone - lukiolaisille suunnattu kemian pulmapeli. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education, 4* (1), **2019**. s. 38–65. https://www.lumat.fi/index.php/lumat-b/article/view/416 (avattu 25.2.2020).

(10) Vikman, J. *Matematiikkaa lukitussa huoneessa - pakohuonepeli matematiikan opetusvälineenä*. Helsingin yliopisto. **2019**, s. 1–56. http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201904171674 (avattu 25.2.2020)

(11) Lähdeniemi, M.; Kiuru, M. *Pelastakaa karvamato: Pakohuonepeli ryhmäytymisen välineenä alakoulussa*. Laurea-ammattikorkeakoulu. **2018**. s. 1–56. http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060612794 (avattu 25.2.2020).

(12) *Make your Escape! - Opas pedagogisen pakopelin suunnitteluun*.; Parkki, T., Joensuun Mediakeskus: Light A Bot -hanke, 2020; s. 1–56. https://peda.net/joensuu/jm/lightabot-luonnos/pakopelit/myentpp (avattu 16.5.2020).

(13) *Real Escape Game by SCRAP*; https://realescapegame.jp/ (avattu 26.5.2020)

(14) Kiili, K.; de Freitas, S.; Arnab, S.; Lainema, T. The Design Principles for Flow Experience in Educational Games. *Procedia Comput. Sci.* **2012**, *15,* s. 78–91.

(15) Peleg, R.; Yayon, M.; Katchevich, D.; Moria-Siphony, M.; Blonder, R. A Lab-Based Chemical Escape Room: Educational, Mobile, and Fun!. *J. Chem. Educ*. **2019**, *96* (5), s. 955–960.

(16) Clarke, S.; Arnab, S.; Morini, L.; Wood, O.; Green, K.; Masters, A.; Bourazeri, A. EscapED: A Framework for Creating Live-Action, Interactive Games for Higher/Further Education Learning and Soft Skills Development. *Proceedings of the European Conference on Games-based Learning*. **2016**, *2016-*, s. 968–972.

(17) Clarke, S.; Peel, D.J.; Arnab, S.; Morini, L.; Keegan, H.; Wood, O. EscapED: A Framework for Creating Educational Escape Rooms and Interactive Games for Higher/Further Education. *Int. J. Ser. Games*, **2017**, *4* (3), s. 73–86.

(18) Wareham Morris, K.; McGowan, J. Gamified Learning: a rationale for ludo-pedagogy and gamified classrooms. *University of Worchester,* **2018**, s. 78–91. https://eprints.worc.ac.uk/id/eprint/6956 (avattu 12.4.2020).

(19) Fotaris, P.; Mastoras, T. Escape Rooms for Learning: A Systematic Review. *Proceedings of the European Conference on Games-based Learning*, **2019**, *2019-*, s. 235–243.

(20) Whitton, N. Playful learning: tools, techniques and tactics. *Res. Learn. Technol.*, **2018**, *26*, s. 1–12.

(21) Csikszentmihalyi, M. *Flow – elämän virta: tutkimuksia onnesta, siitä kun kaikki sujuu*, 1. painos; Rasalas Kustannus: Helsinki, 2005; s. 68–71 ja 81–121.

(22) Järvilehto, L. *Hauskan oppimisen vallankumous*., 1. painos; PS-Kustannus: Jyväskylä, 2015; s. 16–56 ja 110–149.

(23) Rice, L. Playful Learning. *J. Educ.Built Environ.*, **2009**, *4* (2), s. 94–108.

(24) Lambert, J.; Chapman, J.; Lurie, D. Challenges to the four-channel model of flow: Primary assumption of flow support the moderate challenging control channel. *J. Posit. Psychol.*, **2013**, *8* (5), s. 395–403.

(25) Garris, R.; Ahlers, R.; Driskell, J.E. Games, Motivation and Learning: A Research and Practice Model. *Simul. Gaming,* **2002**, *33* (4), s. 441–467.

(26) Kangas, M.; Koskinen, A.; Krokfors, L. A qualitative literature review of educational games in the classroom: the teacher's pedagogical activities. *Teach. Teach.,* **2017**, *23* (4), s. 451–470.

(27) *Pakopeliopas Omnian opettajalle.* Nyyssönen, E.; 2019, Omnia, 2020; s. 1–11. https://oppiva.omnia.fi/wp-content/uploads/2019/08/Pakopeliopas-Omnia-2019.pdf (avattu 25.5.2020).

(28) *Pakopelit opetuksessa*; https://peda.net/joensuu/jm/lightabot-luonnos/pakopelit (avattu 16.5.2020).

(29) Vörös, A.I.V.; Sàrközi, Z. Physics escape room as an educational tool. *AIP Conf. Proc.*, **2017**, *1916* (1), 050002/1–050002/6.

(30) Adams, V.; Burger, S.; Crawford, K.; Setter, R. Can You Escape? Creating an Escape Room to Facilitate Active Learning. *J. Nurses Prof. Dev.*, **2018**, *34* (2), s. E1–E5.

(31) Wise, H.; Lowe, J.; Hill, A.; Barnett, L.; Barton, C. Escape the welcome cliché: Designing educational escape rooms to enhance students' learning experience. *J. Inf. Lit.,* **2018**, *12* (1), s. 86–96.

(32) Dietrich, N. Escape Classroom: The Leblanc Process - An Educational "Escape Game". *J. Chem. Educ.,* **2018**, *95* (6), s. 996–999.

(33) Ferreiro-González, M.; Amores-Arrocha, A.; Espada-Bellido, E.; Aliano-Gonzales, M.J.; Vázquez-Espinosa, M.; González-de-Peredo, A.V.; Sancho-Galán, P.; Álvarez-Saura, J.Á.; Barbero, G.F.; Cejudo-Bastante, C. Escape Classroom: Can You Solve a Crime Using the Analytical Process? *J. Chem. Educ.,* **2019**, *96* (2), s. 267–273.

(34) *Kemian tukimateriaalia. Lukion opetussuunnitelman perusteiden 2019 kemian moduulien sisältöjen tatrkastelua.*; MAOL ry ja Opetushallitus. Helsinki, 2020; s. 11–17. https://maol.fi/materiaalit/lops-2019-kemian-tukimateriaalia/ (avattu 12.4.2020).

(35) Vergne, M.J.; Simmons, J.D.; Bowen, R.S. Escape the Lab: An Interactive Escape-Room Game as a Laboratory Experiment. *J. Chem. Educ.,* **2019**, *96* (5), s. 985–991.

(36) Yayon, M.; Rap, S.; Adler, V.; Haimovich, I.; Levy, H.; Blonder, R. Do-It-Yourself: Creating and Implementing a Periodic Table of the Elements Chemical Escape Room. *J. Chem. Educ.*, **2019**, *97* (1), s. 132–136.

(37) Clapson, M.L.; Gilbert, B.; Mozol, V.J.; Schechtel, S.; Tran, J.; White, S. ChemEscape: Educational Battle Box Puzzle Activities for Engaging Outreach and Active Learning in General Chemistry. *J. Chem. Educ.*, **2020**, *97* (1), s. 125–131.

(38) Turpeenoja, L.; Lehtiniemi, K. *Mooli 2 - KE 1 Ihmisen ja elinympäristön kemiaa*, 1. painos; Kustannusosakeyhtiö Otava: Keuruu, 2016; s. 50–54, 63–70, 101–121, ja 137–152.

(39) Turpeenoja, L. *Mooli 3 - KE3 Reaktiot ja energia*, 1. painos; Kustannusosakeyhtiö Otava: Keuruu, 2016; s. 98–102.

(40) Lehtiniemi, K.; Turpeenoja, L. *Mooli 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia KE1*, 1.-9. painos; Kustannusosakeyhtiö Otava: Keuruu, 2015; s. 80–103.

(41) *Functional Groups in Organic Chemistry, Teacher's Guide.*; Walker, M. State University of New York at Potsdam, 2012; s. 1–37. https://www.rit.edu/affiliate/nysp2i/sites/rit.edu.affiliate.nysp2i/files/docs/resources/Green_Chemistry_Module_Functional_Groups_in_Organic_Chemistry.pdf (avattu 12.4.2020).

(42) *Organic Chemistry Laboratory Techniques,* 2. painos; Nichols, L.; Butte Community College, 2017; s. 338–359. https://organiclabtechniques.weebly.com/ (avattu 8.6.2020).

(43) *Kemianluokka Gadolin: Spektroskopia tutuksi*; https://www.helsinki.fi/fi/tiedekasvatus/spektroskopia-tutuksi (avattu 8.6.2020).

(44) Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto MAOL ry. *MAOL taulukot*, 1. painos; Kustannusosakeyhtiö Otava: Keuruu, 2019; s. 151.

(45) *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*; https://sdbs.db.aist.go.jp (avattu 23.05.2020)

(46) Nicholson, S. Creating Engaging Escape Rooms for the Classroom. *Child. Educ.*, **2018**, *Vol. 94(1)*, s. 44–49.

(47) *Hermitech Laboratory: Formulator Tarsia;* http://www.mmlsoft.com/index.php/products/tarsia (avattu 16.4.2020)

(48) *Pakohuoneesta pääsee Suomessa pois, vaikka valvoja pyörtyisi*; STT; YLE; Helsinki, 5.1.2019. https://yle.fi/uutiset/3-10583246 (avattu 7.6.2020).

9. Liitteet

LIITE 1: Tehtävä 2 – Kokeellisen työn ohjeet (oppilaat)

LIITE 2: Tehtävä 2 – Osoitusreaktioiden kulkukaavio (oppilaat)

LIITE 3: Alustava kysely kemian opettajaopiskelijoille

LIITE 4: Pakopelin taustatarina

LIITE 5: Pakopelin tehtävien kulkukaavio

LIITE 6: Pelautusohjeet ja tehtävät (opettaja), 13 sivua

LIITE 1: Tehtävä 2 – Kokeellisen työn ohjeet (oppilaat)

FUNKTIONAALISTEN RYHMIEN KVALITATIIVISET OSOITUSREAKTIOT

- **Näyte**
- 5 kpl koeputkia + koeputkiteline
- 5 kpl lasipipettejä + **5 kpl kumipäitä**
- Osoitusreaktioiden reagenssisetti (valmiina)
- Kiehuva vesihaude
- Osoitusreaktioiden kulkukaavio

1 ➢ **R-COOH**

- Lisää koeputkeen 1 noin 1 ml (n. 20 tippaa) näytettä
- Lisää 3-5 tippaa $NaHCO_3$ (aq)

2 ➢ **R-COH**

- Lisää koeputkeen 2 noin 1 ml (n. 20 tippaa) näytettä
- Lisää n.1 ml (n. 20 tippaa) Benedictin reagenssia
- Sulje korkilla ja ravista huolellisesti, erityisesti pohjasta
- Lämmitä 1 min kiehuvassa vedessä

3 ➢ **Ph-OH**

- Lisää koeputkeen 3 noin 1 ml (n. 20 tippaa) näytettä
- Lisää 2-3 tippaa $Fe_2(SO_4)_3$ (aq)

4 ➢ **R-NH_2**

- Lisää koeputkeen 4 noin 1 ml (n. 20 tippaa) näytettä
- Lisää 2-3 tippaa ninhydriiniliuosta

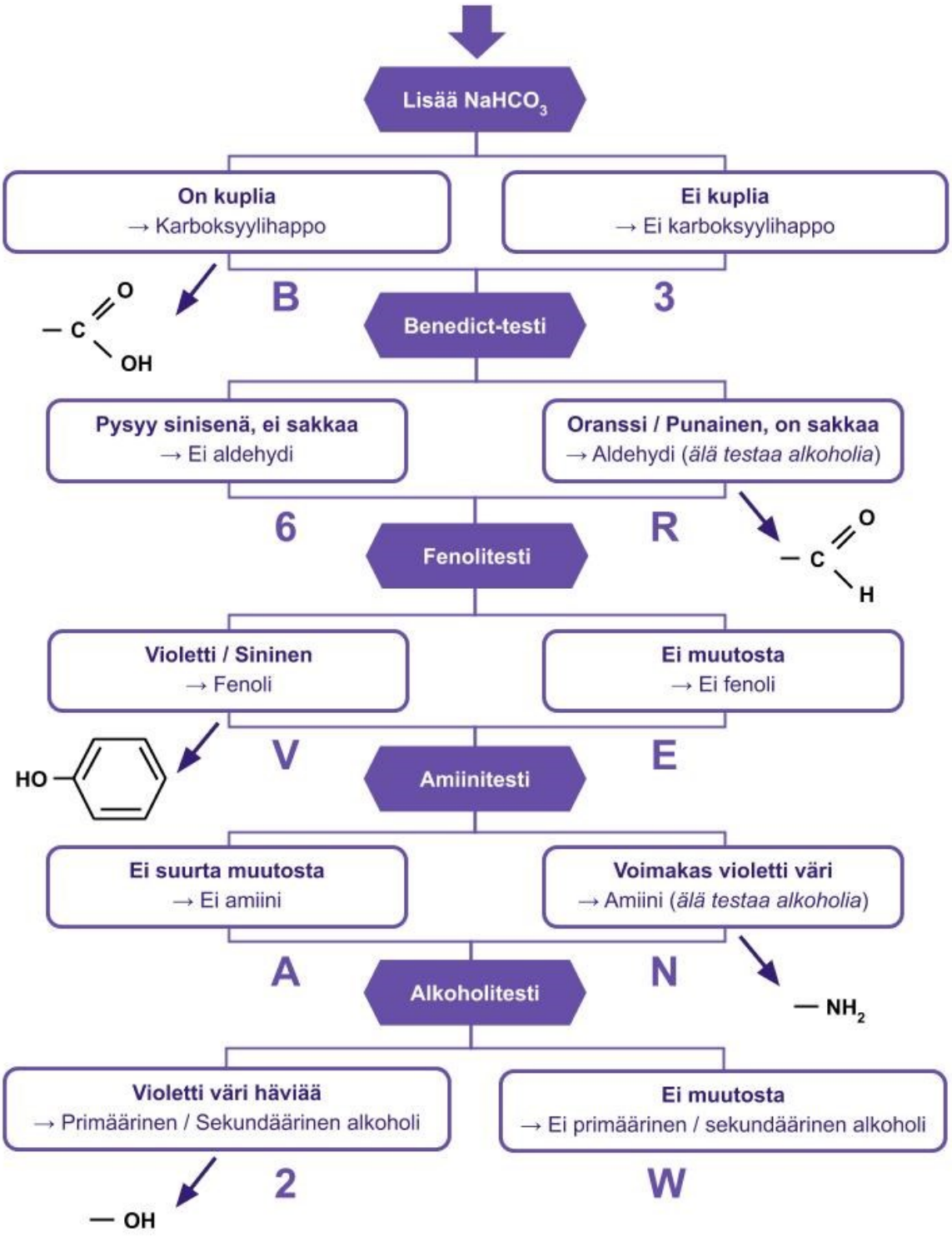
5 ➢ **R-OH**

- Lisää koeputkeen 5 noin 1 ml (n. 20 tippaa) näytettä
- Lisää 1 tippa happamaksi tehtyä $KMnO_4$ (aq)
- Lämmitä 1-2 min kuumassa vedessä

➔ **Kulkukaavio**

➔ Älä kaada viemäriin, laita korkit kiinni ja jätä paikoilleen siivousta varten

LIITE 2: Tehtävä 2 – Osoitusreaktioiden kulkukaavio (oppilaat)



LIITE 3: Alustava kysely kemian opettajaopiskelijoille

Opiskeluvuosi _____ Suoritetut harjoittelut _____

Onko sinulla aiempaa kokemusta pakohuonepeleistä? Jos, niin millaista?

Millaisia ajatuksia pakohuonepelien hyödyntäminen kemian opetusmenetelmänä herättää?

Mitä etua pakohuonepelien hyödyntämisestä kemian opetuksessa voisi olla?

Millaisia haasteita pakohuonepelien hyödyntämiseen kemian opetuksessa voisi liittyä?

Pohdi yksin tai parin kanssa millaisia lukion orgaaniseen kemiaan liittyviä tehtäviä ja pulmia kemian opetuksessa hyödynnettävässä pakohuonepelissä voisi olla. Mihin aiheisiin ne voisivat liittyä? Millaisia välineitä tai proppeja pulmissa voisi hyödyntää?

Hyödyntäisitkö itse pakohuonepeliä opetusmenetelmänä kemian opetuksessa? Miksi?

LIITE 4: Pakopelin taustatarina

Maukas maailmanlopun mysteeri

Taustatarina

On vuosi 2042. Kuten tiedätte.

Maailmanloppu on lähempänä kuin koskaan. Tai no, käytännössä katsoen se on jo täällä.

Olemme tehneet laskelmia yötä päivää, uudelleen ja uudelleen.

On vain yksi tapa pelastaa maailma.

Jonkun täytyy matkustaa ajassa takaisin vuoteen 2020 ja noutaa sieltä eräs esine.

Onneksi olkoon, teidät on valittu tähän tehtävään!

Tarkalleen ottaen etsimme erästä tiettyä ainetta. Nimenomaisesti tietyssä laboratoriossa tuktittavaa, tietyssä pullossa olevaa tiettyä ainetta.

Mitä kyseinen aine on? Emme ole varmoja, siihen liittyy vielä pari aikamuuttujaa.

Jos voisitte siis mitenkään analysoida näytteen löydettyänne sen ja lähettää tulokset meille. Vuoden 2020 teknologia on kammottavan takapajuista, mutta kyllä te pärjäätte.

On ehdottoman tärkeää, että kukaan ei näe teitä vieraillessanne menneisyydessä. Lopputulos voi olla kohtalokas. (Ja yllättävää kyllä, myös kulmikas.)

Lisäksi se on epähygieenistä.

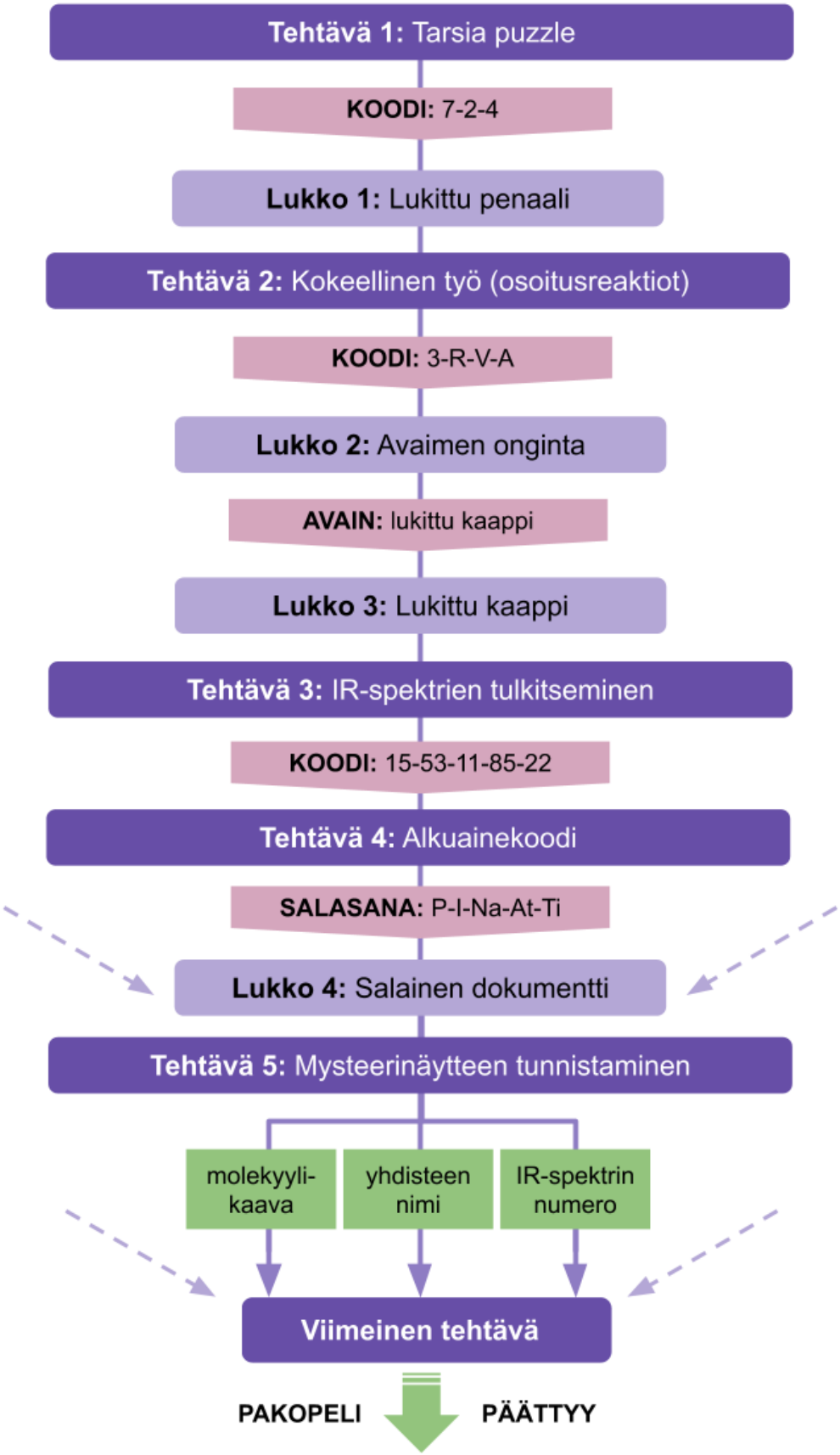
Olemme analysoineet parhaan mahdollisen hetken aineen nappaamiselle ja asettaneet aikakoordinaatit. Teillä pitäisi olla aikaa 45 minuuttia, ennen kuin ensimmäinen työntekijä palaa lounastauoltaan, käsienpesu sinne tänne.

Pyrimme pitämään kommunikaatiokanavat auki, mutta kuuluvuus vuoden 2034 taakse on välillä huono. Voi olla, että joudumme turvautumaan 2020-luvun teknologiaan.

Lähettäkää analyysin tulokset meille ja mikäli kaikki sujuu niin kuin pitääkin, aikakone palauttaa teidät automaattisesti (toivottavasti) parempaan tulevaisuuteen!

Rinnakkaismaailmojen ja -aikajanojen mahdollisuus on aina olemassa, mutta koska vakuutuksenne ei korvaa aikamatkustusta, emme ole vastuussa mahdollisista lieveilmiöistä. Varmuuden vuoksi, älkää koskeko ovenkahvoihin älkääkä missään nimessä

LIITE 5: Pakopelin tehtävien kulkukaavio



T1

TEHTÄVÄ 1 - Tarsia puzzle

yhdisteiden nimeäminen, rakennekaavat, sidokset, isomeria, funktionaaliset ryhmät

- ➢ Osa tarsia puzzlen paloista ripoteltuna ympäri pelialuetta
- ➢ Osa paloista + lappu jossa lukee palojen kokonaismäärä ja puzzlen muoto pöydällä

Kuusikulmion muotoinen tarsia puzzle (ks. materiaalikansio) tulostetaan ja leikataan ennen peliä viivojen mukaan kolmion muotoisiksi paloiksi. Kokoamisen helpottamiseksi yhdellä pöydällä voi olla esimerkiksi paperille tussilla merkitty kuusikulmion muotoinen alue, joka toimii vihjeenä valmiin tarsia puzzlen muodosta. Eri joukkueilla on sisällöltään samanlaiset, mutta palojen järjestykseltään erilaiset puzzlet. Palat on merkitty kunkin joukkueen värillä.

VINKKI

VINKKI (jos palasia puuttuu): Ovatko kaikki palaset löytyneet?

➢ Osa kolmion muotoisista paloista ripotellaan muutamaan eri paikkaan huoneessa siten, että palat ovat helposti löydettävissä ja joko kokonaan tai osittain näkyvissä.

➢ Osa paloista on valmiina pöydällä. Pöydällä on myös post-it-lappu, jossa lukee tarsia puzzlen palojen kokonaismäärä. Näin oppilaat tietävät, milloin paloja ei tarvitse enää etsiä lisää (tarvittaessa pelinohjaaja voi myös vihjata asiasta vinkillä).

VINKKI

VINKKI: Mitkä kolmioiden sivut sopivat yhteen?

- ➔ Kolmion muotoiset palat tulee yhdistellä toisiinsa siten, että palojen reunoihin kirjoitetut orgaanisten yhdisteiden nimet, rakennekaavat, molekyylikaavat, sidokset, isomeria tai funktionaaliset ryhmät sopivat yhteen. Tarsia puzzlessa esiintyvät orgaaniset yhdisteet ovat osittain samoja muissa tehtävissä esiintyvät yhdisteet. Pienistä kolmioista muodostuu lopulta iso kuusikulmio, jonka uloimmilla reunoilla ei ole ollenkaan tekstiä.
- ➔ Kolmioiden keskellä on satunnaisia kirjaimia ja numeroita joilla ei ole merkitystä puzzlen ratkaisun kannalta, mutta joista muodostuu riveittäin koodeja.

VINKKI

VINKKI: Mikähän keskellä olevien numeroiden merkitys on?

VINKKI

VINKKI (mikäli oppilaat eivät löydä koodia): Mitä tarvitsette lukon avaamiseen?

(L1)

➢ Kun palaset on yhdistelty oikein, yhdelle kuusikulmion sivun alariveistä muodostuu **kolminumeroinen koodi**. Kyseessä on ainoa kolmesta numerosta koostuva rivi: muissa on myös kirjaimia, joten ne eivät toimi seuraavassa lukossa (L1).

Joukkue 1: 7-2-4 **Joukkue 2: 1-8-5** **Joukkue 3: 4-1-3** **Joukkue 4: 8-5-2**

L1

LUKKO 1 - Lukittu penaali

- Kolminumeroinen koodi, tarsia puzzlesta (T1)
- Kolminumeroisella numerolukolla lukittu penaali / laukku
- 5 kpl pipettien kumipäitä, penaalissa (T2)
- Mysteerinäytettä sisältävän koeputken numero paperilapulla, penaalissa (T2)
- Lappu, jossa IR-spektreissä esiintyvien yhdisteiden nimet, penaalissa (T3)

Pelitilaan on aseteltu helposti löydettäviin paikkoihin kolminumeroisella numerolukolla lukittuja penaaleja, jotka on merkitty joukkueiden värin mukaan. Kunkin penaalin sisällä on 5 kpl pipettien kumipäitä, joukkueen mysteerinäytettä sisältävän koeputken numero paperilapulle kirjoitettuna sekä lappu, johon on kirjoitettu joukkuueen IR-spektrien nimet.

VINKKI

VINKKI: Mihin kolminumeroista koodia voisi käyttää?

➤ Pelitilasta löytyy kolminumeroisella numerolukolla lukittu, joukkueen värillä merkitty penaali (tai esim. matkalaukku). Numerolukon avaamista voi demonstroida oppilaille ennen pelin aloittamista esimerkiksi alkuinfon aikana jos siihen on tarvetta.

➤ Lukitun penaalin sisällä on 5 kpl pipettien kumipäitä, joita joukkue tarvitsee kokeellisessa työssä (T2). Periaatteessa joukkueet saattavat keksiä lainata näitä myös toisilleen jo ennen kuin lukkoa on suoritettu: tässä tapauksessa pelinohjaajan kannattaa huomauttaa, että joukkueelta on jäänyt lukko välistä.

➤ Kemianluokan vetokaapissa on joukko numeroituja koeputkia, joiden joukossa on joukkueiden näytteiden lisäksi myös muutama ylimääräinen esim. vedellä täytetty koeputki, jotta hitain joukkue ei voi vain veikata viimeisen jäljellä olevan koeputken kuuluvan heille. Lukitusta penaalista löytyy joukkueen värillä merkitty lappu, jossa lukee kyseisen joukkueen näytteen koeputken numero.

➔ Yhdelle joukkueen tarsia-pelin alareunoista muodostunut kolminumeroinen koodi (T1) avaa joukkueen värillä merkityn lukitun penaalin/laukun.

VINKKI

VINKKI: Muistakaa koota kaikki vihjeet löytämisen jälkeen tiettyyn paikkaan!

➤ Lukitusta penaalista/laukusta löytyy **kokeellisessa työssä** (T2) tarvittavia välineitä sekä myöhempään työhön (T5) liittyvä vihje.

T2

TEHTÄVÄ 2 - Kokeellinen työ: funktionaalisten ryhmien osoitusreaktiot

kokeellinen kemia, funktionaaliset ryhmät, osoitusreaktiot

- 5 kpl pipettien kumipäitä, lukitusta penaalista (L1)
- Joukkueen mysteerinäytteen vesiliuosta pienessä korkillisessa numeroidussa koeputkessa,vetokaapista (L1)
- Oppilaiden työohjeet ja osoitusreaktioiden kulkukaavio (**liitteet 5 ja 6**)
- 5 kpl pieniä koeputkia ja niiden korkkeja (sekä tussi niiden merkitsemiseen)
- 5 kpl lasipipettejä
- Osoitusreaktioihin tarvittavat reagenssit (ks. **liite 11**) käyttövalmiina ja selkeästi merkittyinä pienissä koeputkissa koeputkitelineessä (opettaja valmistelee etukäteen)
- Vesihaude koeputkitelineellä lämmitystä varten (valmiiksi lämmitetty)
- Puiset pihdit/pyykkipoika kuuman koeputken käsittelyä varten

Huoneessa on alusta lähtien avoimesti näkyvillä joukkueiden omat, väreillä merkityt kokeelliset työpisteet. Työpisteiltä löytyy valmiiksi tulostettuna oppilaiden työohje ja osoitusreaktioiden kulkukaavio, valmiiksi lämmitetty vesihaude, sekä opettajan etukäteen valmistamat osoitusreaktioissa tarvittavat reagenssit ja työvälineet. Työpiste on muuten valmis oppilaiden käytettäväksi, mutta pelin alussa lasipipettien kumipäät sekä itse tutkittava mysteerinäyte puuttuvat. Vetokaapissa on rivi numeroituja koeputkia, mutta on mahdotonta tietää, mikä näyte on joukkueen oma suorittamatta ensin tarvittavia pulmatehtäviä ja lukkoja.

Vesihaude voi myös olla kaikille joukkueille yhteinen, mutta se lisää oppilaiden liikettä ympäri luokkaa koeputkien kanssa, mikä voi olla työturvallisuusriski. Vesihaude kannattaa olla valmiiksi lämmitettynä, jotta aikaa ei tuhlaannu veden kiehumisen odotteluun.

VINKKI

VINKKI (jos oppilaat yrittävät aloittaa kokeellista työtä heti ilman mysteerinäytettä tai pipettien kumipäitä): Eipä mennä asioiden edelle! Puuttuuko teiltä jotain?

➤ Kokeellinen työskentely voidaan aloittaa vasta sitten, kun joukkue on löytänyt lasipipettien kumipäät omasta lukitusta penaalistaan (L1) ja saanut selville oman näytteensä koeputkessa olevan numeron (L1).

➤ Suojavarusteiden tulee olla käytössä koko pakopelin ajan, mutta erityisesti kokeellisen työskentelyn aikana. Tarvittaessa pelinohjaaja voi muistuttaa vaikka kaikkia joukkueita yleisesti työturvallisuudesta ja huolellisesta työskentelystä ennen kokeellisen työskentelyn aloittamista.

Jatkuu (Tehtävä 2) →

→ Jatkuu (Tehtävä 2)

➔ Oppilaat vievät pipettien kumipäät ja mysteerinäytteen joukkueensa työpisteelle ja aloittavat huolellisen kokeellisen työskentelyn työohjeita (**liite 5**) seuraten.

VINKKI ***VINKKI: Millaisia havaintoja olette tehneet työn aikana?***

➔ Oppilaat suorittavat kvalitatiivisia osoitusreaktioita kulkukaavion (**liite 6**) mukaisesti opettajan etukäteen valmistelemilla reagensseilla ja pienellä määrällä näytettä. Oppilaat voivat ottaa tuloksia ylös esimerkiksi vihkoon.

➔ Kokeellisen työskentelyn aikana oppilaat tekevät havaintoja kvalitatiivisten osoitusreaktioiden perusteella siitä, millaisia funktionaalisia ryhmiä joukkueen näyte mahdollisesti pitää sisällään (onko karboksyylihappo, aldehydi, fenoli, amiini tai primaarinen/sekundaarin alkoholi).

VINKKI ***VINKKI: Millainen polkua olette kulkeneet kokeellisen työn aikana?***

(L2) ➢ Kokeellisen työn aikana kulkukaavion läpi kuljetusta polusta muodostuu viidestä kirjaimesta tai numerosta koostuva **kirjain+numerokoodi**, jonka avulla osataan onkia oikea avain lankapurkista seuraavassa lukossa (L2).

Joukkue 1: 3-R-V-A
Joukkue 2: 3-R-E-A
Joukkue 3: B-6-E-A-W
Joukkue 4: 3-6-E-A-2

L2

LUKKO 2 - Avaimen onginta

- Kirjain+numerokoodi, kiinnitettynä langan toiseen päähän esim. teipillä (T2)
- Lukitun kaapin avain, kiinnitettynä lankaan, jossa joukkueen koodi (L3)
- Useita muita erilaisilla koodeilla merkittyjä lankoja, joiden päihin on kiinnitetty hämäykseksi pieniä esineitä (esim. avaimenperiä, nappeja, korkkea) tai ei mitään
- Maljakko tai syvä laatikko, jonka päässä pieni reikä lankoja varten, pöydällä

Avaimen ongintaa varten voi joko askarrella itse ongintalaatikon esimerkiksi pahvilaatikosta, langoista ja hämäyspainoista, tai käyttää tähän tarkoitukseen esimerkiksi läpinäkymätöntä maljakkoa tai muuta kapeasuista, kestävää ja syvää esinettä.

VINKKI

VINKKI: Jos aloitatte katsomalla järjestelmällisesti ympärillenne, mitä näette?

➢ Pelitilan seinustalla, opettajan pöydällä tai muulla tasolla on maljakko/ongintalaatikko, josta roikkuu lukuisia naruja, joiden päihin on merkitty esimerkiksi maalarinteipillä kirjain+numerokoodi. Joukkueet tuskin alkavat esimerkiksi ravistelemaan avaimia ulos maljakosta, mutta mikäli näin uhkaa käydä, voi pelinjohtaja puuttua asiaan ja ohjata joukkuetta suorittamaan tarvittavia lukkoja ja tehtäviä.

VINKKI

➔ Oppilaiden täytyy valita oikealla koodilla (T2) merkitty lanka muiden joukosta ja kalastaa avain maljakosta/laatikosta. Erityisesti tulee varoa, etteivät kaikki langat tipahda maljakon/laatikon sisään, vaan jäävät roikkumaan pitkälle aukon ulkopuolelle.

VINKKI: Kuinka numeroista voisi muodostaa sanoja kemian avulla?

(L3)

➢ Kirjain+numerokoodilla merkityn langan päästä löytyy **avain** (L3), joka avaa joukkueen värillä merkityn lukitun kaapin tai laukun.

L3

LUKKO 3 - Lukittu kaappi

- Lukitun kaapin avain (L3)
- Lukittu kaappi / laukku
- 4 kpl IR-spektrejä, kansiossa (T3)

Mikäli pelitilassa on joukkueiden lukumäärän verran lukittavia kaappeja, voidaan hyödyntää niitä. Jos lukittavia kaappeja ei ole käytettävissä, voidaan tässä hyödyntää mitä tahansa tavallisella avaimella avautuvaa lukkoa ja sillä lukittavaa kohdetta, kunhan se on tarpeeksi iso jotta IR-spektrit mahtuvat sinne, kansio ei ole välttämätön. Esimerkiksi matkalaukku, putkikassi, ketjulukolla lukittu laatikko jne.

VINKKI

VINKKI: Jos aloitatte katsomalla järjestelmällisesti ympärillenne, mitä näette?

➤ Pelitilassa on joukkueen värillä merkitty lukittu kaappi/laukku, jonka avaamiseen tarvitaan tavallinen avain. Mikäli joukkue löytää oman kaappinsa, mutta avain ei sovikaan lukkoon, ovat he onnistuneet jotenkin onkimaan itselleen väärän avaimen. Tässä tapauksessa heidän kannattaa kysellä muilta joukkueilta omaa avaintaan (onginnassa ei ole mahdollista saada “ylimääräisiä” avaimia).

➤ Lukitussa kaapissa/laukussa on esimerkiksi kansio, jonka sisällä on nippu joukkueen värillä merkittyjä IR-spektrejä. Myös kansio olla merkitty joukkueen väreillä.

➔ Joukkueen tulee löytää pelitilasta heille kuuluva lukittu kaappi/laukku ja avata se edellisestä lukosta (L2) ongitulla avaimella.

VINKKI

VINKKI: Kuinka numeroista voisi muodostaa sanoja kemian avulla?

➤ Lukitusta kaapista löytyy **kansio**, jossa on nippu joukkueen värillä merkittyjä IR-spektrejä, joita tulkitaan seuraavassa tehtävässä (T3).

T3

TEHTÄVÄ 3 - IR-spektrien tulkitseminen

IR-spektroskopia, IR-spektrien tulkitseminen, funktionaaliset ryhmät

- Joukkueen värillä merkitty nippu IR-spektrejä, kansiossa (L3)
- Lapulle kirjoitettu lista spektrien yhdisteistä, joukkueen lukitusta penaalista (L1)
- MAOL-taulukkokirja, näkyvillä jossain päin pelitilaa

Tämän tehtävän vaikeustasoa voi säätää esimerkiksi kansiossa olevien spektrien määrää lisäämällä/vähentämällä. Jos IR-spektrien tulkintaa ei ole vielä aikaisemmin käsitelty, voi spektreihin lisätä esim. käsin kirjoittamalla vihjeitä niiden tulkitsemisesta, tai spektrien määrä voi olla pienempi. Jos spektrien tulkintaa on jo käsitelty, niissä voi olla vähemmän vihjeitä tai spektrejä voi olla useampia. Mukaan voi ottaa myös hankalammin tulkittavia spektrejä, mikäli haluaa peliin lisää haastetta.

VINKKI

VINKKI: Eikös meillä ollut jo joku vihje, josta voisi olla hyötyä tässä tehtävässä?

➢ Lukitusta kaapista (L3) löytyy kansio, jossa on nippu joukkueen värillä merkittyjä IR-spektrejä. Spektreihin ei ole merkitty yhdisteiden nimiä. Mikäli tehtävää halutaan helpottaa, voi osaan spektrejä merkitä hankalimpia piikkejä valmiiksi esim. käsin kirjoittamalla.

➢ Aikaisemmin lukitusta penaalista (L1) löytynyttä, joukkueen värillä merkittyä lappua tarvitaan tässä tehtävässä: siihen listattujen yhdisteiden nimet kuuluvat kansiossa oleville IR-spektreille.

VINKKI

VINKKI: Mitä voisi käyttää apuna tulkitsemisessa?

➔ Lukitusta penaalista löytyneellä lapulla olevat yhdisteiden nimet ja IR-spektrit voidaan yhdistää toisiinsa IR-spektrejä tulkitsemalla: tunnistamalla funktionaalisille ryhmille tyypillisiä piikkejä voidaan nimet ja spektrit yhdistää toisiinsa.

VINKKI

VINKKI: Löytyykö kaikille IR-spektreille nimilappu? Miksi yksi jäisi ilman?

➔ Yhdelle spektrille ei kuitenkaan ole nimilappua: tämän voidaan päätellä kuuluvan joukkueen mysteeriselle näytteelle. Oppilaat voivat halutessaan tarkistaa spektrin avulla kokeellisen työn aikana näytteen sisältämistä funktionaalisista ryhmistä tehtyjä havaintoja.

Jatkuu (Tehtävä 3) →

→ Jatkuu (Tehtävä 3)

VINKKI

VINKKI: Onko näytteen IR-spektrin tulosteessa havaittavissa mitään erikoista?

(T4)

- Nimilappujen ja IR-spektrien yhdistämisen jälkeen ylimääräiseksi jääneen, oletettavasti mysteerinäytteelle kuuluvan IR-spektrin reunasta löytyy epäilyttävä **numerosarja**, jota tulkitaan seuraavassa tehtävässä (T4).

  Joukkue 1: 15-53-11-85-22 **Joukkue 3: 19-18-15-13-8**
  Joukkue 2: 23-13-19-8-53-10-7 **Joukkue 4: 88-15-18-15-68-53**

- Samaa numerosarjaa tarvitaan myös pelin lopussa viimeisessä tehtävässä (VT).

T4

TEHTÄVÄ 4 - Alkuainekoodi

jaksollinen järjestelmä

- Numerosarja, joukkueen IR-spektrin reunassa (T3)
- Jaksollinen järjestelmä, julisteena seinällä tai MAOL-taulukkokirjasta

Tämä tehtävä on yksinkertainen, mutta yhteys numerosarjan ja jaksollisen järjestelmän välillä voi olla oppilaille yllättävän haastava hoksata, vaikka edellisessä tehtävässä on juuri käytetty taulukkokirjaa tai vaikka jaksollinen järjestelmä olisi seinällä heidän edessään. Tätä tehtävää varten kannattaa miettiä valmiiksi vinkkejä, joilla ohjata oppilaita hoksaamaan ratkaisutapa ilman, että kertoo suoraan kuinka koodi tulee ratkaista.

VINKKI

VINKKI: Mikä voisi auttaa järjestelmälliseen koodin purkamiseen?

➤ Huoneessa voi olla esillä näkyvällä paikalla jaksollinen järjestelmä, esim. seinällä isona julisteena, tai pelaajat voivat käyttää edellisessä tehtävässä jo käyttämiään MAOL-taulukkokirjoja. Tarvittaessa jaksollisen järjestelmän yhteyteen voi kiinnittää vinkiksi vaikka post-it-lapun, jossa annetaan lisävihje koodin purkamisesta.

➔ Kunkin joukkueen IR-spektrin (T3) reunasta löytyy oma uniikki numerosarjansa, joka pelaajien täytyy hoksata yhdistää jaksolliseen järjestelmään: väliviivalla erotetut luvut vastaavat alkuaineiden järjestyslukuja. Kirjoittamalla järjestysluvut alkuaineiden lyhenteellä muodostuu koodisana, jota tarvitaan seuraavassa lukossa (L4).

Esim. 15 - 53 - 11 - 85 - 22 → P - I - Na - At - Ti

VINKKI

VINKKI: Kuinka numeroista voisi muodostaa sanoja kemian avulla?

(L4)

➤ Muodostunut **koodisana** on vain yksi osa seuraavan lukon (L4) avaamiseksi tarvittavaa “salasanaa”, loput “salasanoista” saadaan muilta joukkueilta yhteistyön avulla.

Joukkue 1: P-I-Na-At-Ti
Joukkue 2: V-Al-K-O-I-Ne-N
Joukkue 3: K-Ar-P-Al-O
Joukkue 4: Ra-P-Ar-P-Er-I

L4 **LUKKO 4 - Salainen dokumentti** *YHTEISTYÖTEHTÄVÄ*

- Joukkueen osa “salasanaa”, alkuainekoodista (T4)
- Google Forms -lomake (“PASSWORD REQUIRED”), auki tietokoneella
- “Salainen dokumentti”: lista rakenteista ja nimistä, Google Forms -lomakkeella

Pelitilassa on ollut koko pelin ajan auki tietokone, jossa on auki kaksi selainikkunaa. Toisessa selainikkunassa on avoinna Google Forms -lomake nimeltä “PASSWORD REQUIRED”:

➤ https://forms.gle/wafwdKiC8QqYVbHJ8

Salasanalla voi lukita myös itse tietokoneen, mutta koska yleensä koulujen tietokoneiden salasanat voi muuttaa vain admin, ei tämä ole käytännöllistä. Vaikka oman tietokoneen käyttö on myös mahdollista, päädyttiin varmuuden vuoksi helpommin toteutettavaan Google Forms -lomakkeeseen. Muu tietokoneen käyttö ei ole pelin aikana sallittua.

VINKKI ***VINKKI: Mistä / Keneltä muut salasanaan tarvittavat osat voisivat löytyä?***

➤ Google Forms -lomake vaatii etenemiseen neljästä eri koodisanasta koostuvaa “salasanaa”, jonka ratkaisemiseksi vaaditaan kaikkien joukkueiden yhteistyötä.

➤ Google Forms -lomakkeelle on piilotettu “salasanan” taakse kuvan muodossa oleva lista orgaanisten yhdisteiden rakenteita ja nimiä (yhteensä 12 kpl). Lomakkeen kysymysten asetukset tulee säätää sellaisiksi, että jokainen kysymys on pakollinen ja annetun vastauksen tulee täyttää määrätyt ehdot. Valitettavasti Google Forms ei ole syötettävän tekstin suhteen täysin erehtymätön, vaan se hyväksyy myös sellaiset sanat, jotka sisältävät oikean salasanan (esim. “sokeripala” on hyväksyttävä vastaus, vaikka salasana olisi “sokeri”). Todennäköisyys oikaisuun tätä kautta on kuitenkin erittäin pieni.

➔ Kun kaikki joukkueet ovat ratkaisseet alkuainekoodin (T4), voidaan koodista ratkaistut salasanat syöttää yhdessä Google Forms -lomakkeeseen joukkueiden värien mukaisesti. Sanat tulee syöttää ilman väliviivoja, esim. muodossa “sokeri”.

VINKKI ***VINKKI: Muistitteko syöttää salasanat ilman väliviivoja?***

➤ Oikeiden salasanojen syöttäminen avaa oppilaiden näkyviin **“salaisen dokumentin”**, joka sisältää joukon seuraavassa tehtävässä (T5) tarvittavia orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoja ja nimiä.

T5

TEHTÄVÄ 5 - Mysteerinäytteen tunnistaminen

rakennekaavat, orgaanisten yhdisteiden nimeäminen, molekyylikaavan laskeminen

- "Salainen dokumentti": lista rakenteista ja nimistä, Google Forms -lomakkeella (L4)
- Mysteerinäytteen IR-spektri (T3)

Joukkueet saattavat intuitiivisesti jatkaa yhteistyötä tai toistensa auttamista tämän tehtävän aikana: se on täysin hyväksyttyä, kunhan yksi joukkue tai pelaaja ei ratkaise kaikkea muiden puolesta, vaan kaikki osallistuvat pohdintaan.

VINKKI

VINKKI: Mitä tietoa teillä on jo käytettävissänne?

➤ Aiemmin ilman nimilappua jääneen IR-spektrin (T3) voidaan olettaa sisältävän tietoa joukkueen mysteerinäytteen sisältämistä funktionaalisista ryhmistä. Joukkue on jo tähän mennessä todennäköisesti tulkinnut valmiiksi spektristä funktionaaliset ryhmät.

➤ Google Forms -lomakkeessa "salasanan" takana ollut "salainen dokumentti", joka sisältää listan orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoja sekä nimiä (12 kpl).

- ➔ Pelaajien tehtävänä on tunnistaa dokumentin listasta joukkueensa mysteerinäytteen rakennekaava ja yhdisteen nimi. Tunnistamisessa käytetään apuna osoitusreaktioiden aikana tehtyjä havaintoja sekä IR-spektristä tulkittua tietoa näytteen mahdollisesti sisältämistä funktionaalisista ryhmistä. Tehtyjä havaintoja ja tulkintoja verrataan listasta löytyviin rakennekaavoihin.
- ➔ Kun rakennekaava on selvinnyt, selviää dokumentista samalla myös yhdisteen nimi.
- ➔ Kun rakennekaava on selvillä, voidaan yhdisteelle laskea molekyylikaava, mikä kertoo yhdisteen hiili-, vety-, happi- ja typpiatomien määrät.

VINKKI

VINKKI: Mitä muuta voitte saada selville yhdisteen rakennekaavan avulla?

- ➤ Mysteerinäytteen IR-spektrin ja salaisesta dokumentista löytyneen orgaanisten yhdisteiden rakenteita ja nimiä sisältävän listan avulla saadaan selville mysteerinäytteen **yhdisteen nimi**, jota tarvitaan viimeisessä tehtävässä (VT).
- ➤ Salaisesta dokumentista löytyneen mysteerinäytteen rakennekaavan avulla voidaan laskea yhdisteen **molekyylikaava**, jota tarvitaan viimeisessä tehtävässä (VT).

VT **VIIMEINEN TEHTÄVÄ - Google Forms / Lappu** *YHTEISTYÖTEHTÄVÄ*

- Google Forms -lomake ("VIIMEINEN TEHTÄVÄ"), auki tietokoneella / tai paperilappu
- Mysteerinäytteen molekyylikaava, rakennekaavasta (T5)
- Mysteerinäytteen yhdisteen nimi, tiedostosta (T5)
- Mysteerinäytteen IR-spektrin numerosarja (T3)

Pelitilassa on tietokone, jossa on auki toisessa selainikkunassa Google Forms -lomake nimeltä "VIIMEINEN TEHTÄVÄ":

➤ https://forms.gle/9LWc5LB2mK7uTBRm7

Vaihtoehtoisesti viimeiseen tehtävään voi käyttää myös paperilappua, jonka joukkueet täyttävät kynällä.

VINKKI ***VINKKI: Onko teillä jo kaikki tarvittavat tiedot?***

➔ Tehtävässä 5 rakennekaavan avulla lasketun molekyylikaavan sisältämien hiili-, vety-, happi- ja typpiatomien lukumäärät syötetään lomakkeeseen oman joukkueen kohdalle.

➔ Tehtävässä 5 oikean rakennekaavan tunnistamisen kautta selvitetty orgaanisen yhdisteen nimi kirjoitetaan lomakkeeseen oman joukkueen kohdalle.

➔ Tehtävässä 3 näyttteen IR-spektrin reunalta löydetty viisinumeroinen numerosarja syötetään lomakkeeseen oman joukkueen kohdalle.

VINKKI ***VINKKI: Oletteko varmasti syöttäneet tiedot oman joukkueenne kohdalle?***

➤ Peli päättyy, kun kaikki joukkueet ovat lisänneet näytteensä tiedot lomakkeeseen ja se on **lähetetty** onnistuneesti. Mikäli tiedot täytetään paperilapulle, peli päättyy kun se on livautettu esimerkiksi pelinohjaajan valvontakopin verhon ali.

RATKAISUT

➢ Näytteet

Joukkue 1:	Vanilja	vanilliini	$C_8H_8O_3$ 4-Hydroksi-3-metoksibentsaldehydi
Joukkue 2:	Kaneli	kanelialdehydi	C_9H_8O (2E)-3-fenyyliprop-2-enaali
Joukkue 3:	Raparperi	oksaalihappo	$C_2H_2O_4$ Etaanidihappo
Joukkue 4:	Minttu	mentoli	$C_{10}H_{20}O$ 2-(2-propyyli)-5-metyylisykloheksanoli

➢ Koodit

	Lukko 1	**Lukko 2**	**Lukko 4**	**Lukko 5**
Joukkue 1:	7-2-4	3-R-V-A	15-53-11-85-22	P-I-Na-At-Ti
Joukkue 2:	1-8-5	3-R-E-A	23-13-19-8-53-10-7	V-Al-K-O-I-Ne-N
Joukkue 3:	4-1-3	B-6-E-A-W	19-18-15-13-8	K-Ar-P-Al-O
Joukkue 4:	8-5-2	3-6-E-A-2	88-15-18-15-68-53	Ra-P-Ar-P-Er-I

➢ Tehtävä 3 - IR-spektrit

Joukkue 1: **vanilliini**, L-omenahappo, sitraali, urea

Joukkue 2: **kanelialdehydi**, maitohappo, fenyylietyyliamiini, L-viinihappo

Joukkue 3: **oksaalihappo**, bentsaldehydi, 2-heptanoni, kanelialkoholi

Joukkue 4: **(-)-mentoli**, bentsoehappo, 3-metyylibutanaali, vadelmaketoni

➢ tTehtävä 5 - Rakenteet ja nimet

vanilliini	limoneeni
kanelialdehydi	ruusuoksidi
oksaalihappo	sitruunahappo
(-)-mentoli	3-metyylibutanaali
	fenyylietyyliamiini
	linaloli