

# LUONNONTIETEELLISEN TUTKIMUKSEN TEKEMINEN KOULUSSA



OPETUSHALLITUS

Elina Näsäkkälä  
Maija Flinkman  
Maija Aksela  
2001

## Alkusanat

**K**aikki luonnontieteellinen tieto, joka ihmiskunnalla on hallussaan tänään, on syntynyt uteliaisuuden, tiedonhalun ja tutkimuksen kautta. Useimpien keksintöjen takana on jonkun yksittäisen ihmisen yllyttävä oivallus. Keksinnöt ovat puolestaan sidoksissa aikaan. Arvot määräävät kunakin aikana tutkimusaiheet, välillä tiukemmin ja välillä väljemmin. Toisaalta on pitänyt kavuta luonnontieteellisen kehityksen historialliset portaavat, jotta jokin asia voidaan tänään keksiä. Yksi tutkija ehtii elämänsä aikana rakentaa vain osan uudesta porrasaskelmasta, se on vain hyväksyttävä.

Oppaan kirjoittajat ovat luonnontieteiden opettajia Helsingin Suomalaisesta Yhteiskoulusta, Olarin lukioista sekä Helsingin Yliopiston opettajankoulutuslaitokselta. Kirjantekijöillä on omakohtaista kokemusta tutkimuksen teosta sekä tutkimusten ohjaamisesta lukiossa. Nöyränä ja omat rajoituksemme ymmärtäen haluamme jakaa näissä yhteyksissä saamiamme käytännön vinkkejä muidenkin käyttöön.

Oppaamme on tarkoitettu opettajien ja opiskelijoiden avuksi ja tueksi suunniteltaessa tavallista oppitunnin koejärjestelyä suurempaa ja itsenäisempää luonnontieteellistä tutkimusta. Tavoitteemme kirjaa tehdessämme on ollut pyrkiä madaltamaan kynnyksiä koulun piirissä tehtävälle tutkimukselle. Koska luonnontieteet ovat kokeellisia, luonnontieteissä on ollut tapana järjestää työtunteja, joilla päästään havaitsemaan itse tiettyjä ilmiöitä. Luokattoman lukion myötä osa kouluista tarjoaa luonnontieteistä erityisesti kiinnostuneille työkursseja, joiden sisältö parhaimmillaan koostuu erilaisten menetelmien käytännön opiskelusta. Työkurssin lisäksi voidaan järjestää tutkimuskurssi, jolla opiskelija tekee ohjatusti oman pienen, mielellään kokeellisen tutkimuksen ja joka antaa työkursseilla opituille menetelmille mielekkyyden.

Tutkimus opetuksen välineenä, ei ole totutun kaltaista opetusta eikä oppimista. Se on luonteeltaan hyvin avointa aina aihevalinnasta lähtien. Opettaja muuttuu ohjaajaksi, eikä enää tiedäkään suoralta kädeltä vastausta kaikkeen. Se voi tuntua pelottavalta niin opettajasta kuin opiskelijastakin, mutta juuri niin pitääkin tapahtua. Tietoa on maailmassa niin paljon, ettei kukaan ihminen kykene hallitsemaan kuin pienen, itselleen tarkoitukseen mukaisen palan. Tieto on myös dynaamista; tieto muuttuu ja sitä tulee jatkuvasti lisää. Siksi tieteellistä tutkimusta tarvitaan ja tehdään.

Koska oppiminen tapahtuu tutkimuksen tekemisen avulla ja ilman että kukaan varsinaisesti opettaa, käytämme menetelmästä läpi koko kirjan nimitystä tutkimuskeskeinen oppiminen. Tutkiva oppiminen olisi ollut myös käyttökelpoinen termi, mutta tutkivalla oppimisella tarkoitetaan selkeästi eri asiaa kuin mitä me haluamme tutkimuskeskeisellä oppimisella ilmaista (Hakkarainen & al. 1999).

Opas on nimensä mukaisesti hyvin käytännöllinen. Koska tutkimusprosessissa ohjaaja ja ohjattava kulkevat ikään kuin käsi kädessä, niinpä ongelmat ja niiden ratkaisut ovat yhteisiä. Tästä syystä luvut ovat pääsääntöisesti kirjoitettu molemmille. Osa luvuista on suunnattu enemmän opiskelijoille ja toiset enemmän opettajalle. Kirjoittajat ovat ajatelleet, että oppaan lukeminen tapahtuisi tarpeen mukaan. Esimerkiksi lukuun 6, Tutkimuksen toteutus käytännössä, jossa kerrotaan tutkimuksen yleisestä kulusta, olisi opiskelijan syytä perehtyä ennen tutkimukseen ryhtymistä. Lukuun 7, Tutkimusraportin kirjoittaminen, kannattaisi perehtyä ennen kuin alkaa luonnostaa ensimmäistä versiota tutkimusraportista. Nimenomaan opettajalle suunnattuja vinkkejä löytyy luvusta 5, Tutkimuksen suunnittelu.

Arviointiin kannattaa niin opiskelijan kuin opettajankin perehtyä jo hyvin varhaisessa vaiheessa, koska myös sieltä löytyy arvokkaita vinkkejä tutkimuksen tekemisen vaiheista ja niiden sisältämistä vaatimuksista. Ennen tutkimukseen ryhtymistä opiskelijan ja opettajan tulee sopia, miten lopullinen työ arvioidaan. Tutkimuskeskeisessä oppimisessa tutkimusprosessi on erityisen tärkeää. Näin arviointia ei voi kohdentaa vain lopputuloksen eli tutkimusraportin tai tutkielman arviointiin vaan arvioinnin tulee kattaa kaikki tutkimuksen tekemisen vaiheet. Opiskelijan tulee voida saada arviointi siitä huolimatta vaikka koejärjestely syystä tai toisesta epäonnistuisi.

**Käsitteitä:**

- Työtunti = koko oppitunnin mittainen rupeama, jossa opiskelu tapahtuu kokeellisen, tutkivan lähestymistavan mukaisesti
- Työkurssi = koko kurssin mittainen rupeama, johon sisältyy tärkeimpien menetelmien oppiminen
- Tutkimuskurssi = koko kurssin mittainen rupeama, jossa opiskelija ohjautusti käy itse läpi pienen tutkimusprosessin.

Helsingissä, 7.12.2001

Elina Näsäkkälä    Maija Flinkman    Maija Aksela

## Sisällys

1	Tutkimuksen tekemisen merkitys ja yavoitteet	5
1.1	Tutkimuksen merkitys koulussa	5
1.2	Tutkimuksen tekemisen tavoitteet	7
2	Aikaisemmat tiedot ja taidot	8
2.1	Tarvitaanko niitä?	8
2.2	Kokeelliseen työtapaan harjaannuttaminen	11
3	Tutkimuksen tekemisen edellytykset	14
3.1	OPS ja ohjaus	14
3.2	Ilmapiiri	15
3.3	Resurssit	15
4	Tutkimuksen laajuus	16
4.1	Kokeellinen tai kirjallisuuteen perustuva tutkimus	16
4.2	Yksin vai yhdessä?	17
4.3	Tutkimusraportin pituus	18
4.4	Eri oppiaineita integroiva tutkimus	18
4.5	Tutkimukseen käytetty aika	18
5	Tutkimuksen suunnittelu	19
5.1	Käytännön vinkkejä tutkimuksen ohjaajalle	19
5.2	Tutkimusaiheen valinta	21
5.3	Tutkimuksen aikataulusta sopiminen	23
6	Tutkimuksen toteutus käytännössä	26
6.1	Yleistä luonnontieteellisestä tutkimuksesta	26
6.2	Luonnontieteellisen tutkimuksen vaiheet	27
6.3	Tutkimuspäiväkirjan ja muistiinpanojen tekeminen	30
7	Tutkimusraportin kirjoittaminen	32
7.1	Kirjoittaminen ja kieli	32
7.2	Kirjallisuusviitteet tekstissä	32
7.3	Tutkimusraportin muoto	33
8	Tutkimuksen arviointi	37
8.1	Yleistä	37
8.2	Opintosuorituksen laajuuden arviointi	38
8.3	Tutkimusraportin arviointi	39
8.4	Monipuolinen arviointi	41
9	Kirjallisuutta	43
10	Esimerkkitutkimuksia	46
10.1	Kemian tutkimus An Investigation of the Effect of Different pHs on the Activity of $\beta$ -Galactosidase from <i>Aspergillus oryzae</i>	46
10.2	Fysiikan tutkimus The Effect of Friction on Skateboarding	63

# 1 Tutkimuksen tekemisen merkitys ja tavoitteet

## 1.1 Tutkimisen merkitys koulussa

*Onko mökkini järvi-vesi juomakelpoista? Miten kompostini toimii? Onko kompostini multa hyvää kukkien vai tomaatin kasvattamiseen? Miten akvaarioni veden nitraattipitoisuus vaikuttaa siellä elävien kalojen elämiseen? Miksi sinilevää esiintyy Itämeressä? Mikä on amylaasientsyymien merkitys aspiriinitabletin hajoamisessa? Mitkä tekijät vaikuttavat poretabletin liukenevuuteen? Miten autoni katalysaattori vaikuttaa ilman laatuun? Miten mökilläni oleva aurinkopaneeli toimii? jne.*

Luonto ja arkielämä on täynnä mielenkiintoisia tutkimusaiheita, joihin luonnontieteellisen tutkimuksen avulla voidaan perehtyä syvemmin. Tutkiminen sisältää havaintojen tekemistä, kysymysten esittämistä, aikaisemman tiedon hakemista kirjoista tai muista lähteistä, tutkimuksen suunnittelua, asian tutkimista kokeellisesti, erilaisten välineiden käyttöä aineiston keräämisessä, analysoinnissa ja datan tulkitsemisessä, vastausten, selitysten ja ennusteiden tekemistä sekä tuloksien esittämistä kirjallisesti että suullisesti. Tutkiva ja kokeellinen lähestymistapa kuuluu olennaisena osana luonnontieteiden opetukseen tavoitteisiin peruskoulusta lukioon (Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994; Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 1994).

*“Tavoitteena on, että opiskelija tutustuu biologisen tutkimuksen keinoihin ja mahdollisuuksiin. Opiskelu perustuu biologisiin tutkimusmenetelmiin, kokeelliseen työskentelyyn ja omaehtoiseen, monipuoliseen tiedonhankintaan. Tärkeätä on, että opiskelija harjaantuu arvioimaan tuloksia, tekemään niistä johtopäätöksiä sekä kokoamaan tuloksia ja esittämään niitä mahdollisimman havainnollisesti.”* (Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994, biologia, lyhen.)

*“Fysiikan ja kemian opetukseen kuuluu keskeisenä kokeellinen lähestymistapa, jossa nojaututaan ympäristöstä kokeellisesti hankittuun tietoon. Olennaista on johdonmukainen ohjaaminen tiedonhankinnan menetelmään, johon kuuluu mm. havaintojen, mittausten, kokeiden ja tutkimuksen suunnittelu ja tekeminen, keskustelu, havaintojen käsitteistäminen, esittäminen, tulkitseminen ja mallintaminen, johtopäätösten tekeminen sekä niiden testaaminen, havaintojen ja esitettyjen tietojen kriittinen arviointi sekä opitun soveltaminen ongelmanratkaisussa.”* (Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994, fysiikka ja kemia, lyhen.)

Tutkimuksen tekeminen kuuluu myös monien muiden maiden opetussuunnitelmien perusteisiin: mm. USA:ssa se on tarkoitettu kaikille opiskelijoille luonnontieteellisen yleissivistyksen osana. Samoin kansainvälisessä IB-tutkinnossa itsenäisen laajemman tutkimuksen tekeminen kuuluu kaikille opiskelijoille.

Tutkimuksen tekemisellä voidaan monipuolisesti tukea opiskelijan luonnontieteiden oppimista ja opiskelua (ks. taustakirjallisuus luku 1). Se antaa opiskelijalle mahdollisuuden olla aktiivinen, luova, kriittinen, itsenäinen ja vuorovaikutteinen tiedon tutkija: hankkija, käsitteittäjä ja soveltaja nykyoppimiskäsityksen mukaisesti. Tutkiminen tukee opiskelijoiden luonnontieteiden

käsitteiden ja ilmiöiden oppimista (taulukko 1). Se tukee erilaisten taitojen, muun muassa ajattelutaitojen, laborointitaitojen, ongelmanratkaisutaitojen, metakognitiivisten sekä sosiaalisten taitojen kehittämistä, joita tarvitaan yhä enemmän myös jokapäiväisessä elämässä että työelämässä. Erityisesti se kehittää tärkeitä tiedonhankinta-, käsittely- ja päättelytaitoja, tulosten raportointi- ja esittämistaitoja, työn suunnittelutaitoa sekä ryhmätyö-, ihmishuuhde- ja ongelmaratkaisutaitoja. Tutkiminen kehittää myös luonnontieteellisen tutkimuksen tekemisen taitoja: suunnittelua, tutkimuksen organisointia, kirjallisuuden käyttöä, ajankäytön suunnittelua ja hallintaa. Tutkimustietoa hankittaessa modernin teknologian avulla harjaannutetaan myös tärkeitä tietotekniikan taitoja.

Opiskelija saa tutkimisen kautta myös mahdollisuuden omakohtaiseen kokemukseen luonnontieteellisestä tutkimuksesta: sekä sen tutkimusprosessista että tutkimusmenetelmistä. Se kehittää vastuuntuntoa, luovuutta, aloitteisuutta, pitkäjänteisyyttä ja itseluottamusta. Se vaikuttaa mielenkiinnon heräämiseen luonnontieteitä ja niiden opiskelua kohtaan oivaltamisen ilon ja onnistumisen elämysten kautta.

TAULUKKO 1. Yhteenvetoa tutkimuksen tekemisen merkityksestä kirjallisuuden perusteella

Tutkimuksen tekemisellä voidaan
<ul style="list-style-type: none"><li>• tukea luonnontieteiden käsitteiden ja ilmiöiden ymmärtämistä</li><li>• kehittää luonnontieteellistä ajattelua, havaintojen ja tiedon jäsentämistä, päättelykykyä ja arviointitaitoja</li><li>• kehittää luonnontieteellisen tutkimuksen tekemisen taitoja: suunnittelua, tutkimuksen organisointia, kirjallisuuden käyttöä, ajankäytön suunnittelua ja hallintaa</li><li>• kehittää erilaisia laboratoriotyöskentelyssä tarvittavia teknisiä ja motorisia sekä havaitsemisen sekä turvallisen työskentelyn taitoja</li><li>• kehittää kommunikointiin ja yhteistyökykyyn liittyviä taitoja</li><li>• kehittää ongelmanratkaisuun ja oppimaan oppimisen taitoja</li><li>• kehittää tietotekniikan käyttötaitoja</li><li>• kehittää vastuuntuntoa, luovuutta, aloitteisuutta, pitkäjänteisyyttä itseluottamusta</li><li>• kehittää itsenäistä opiskelua ja opiskeluvälmiuksia sekä</li><li>• herättää mielenkiintoa luonnontieteitä ja niiden opiskelua kohtaan</li></ul>

Luonnontieteelliseen tutkimukseen perehtyessään opiskelija perehtyy monipuolisesti luonnontieteiden luonteeseen ja merkitykseen. Hän huomaa, että luonnontieteissä tutkiminen on keskeistä, luonnontieteiden avulla mallinnetaan ja selitetään asioita, niiden avulla tunnistetaan ongelmia ja ratkaistaan niitä sekä luonnontieteen innovaatioilla vaikutetaan jokapäiväisen elämän laatuun. Opiskelija huomaa myös, että luonnontieteellinen tieto on suhteellista ja muuttuvaa, tutkimuksessa noudatetaan yleisesti hyväksytyjä eettisiä perusperiaatteita sekä että tutkimusprosessissa on olennaista sosiaalinen vuorovaikutus, logiikka ja luovuus. Tutkimisen tekemisen kautta opiskelija saa myös mahdollisuuden tutustua tutkijana olemiseen ja voi saada vahvistusta omille jatko-opiskelusuunnitelmilleen. Erityisesti tutkimuksen tekeminen antaa lahjakkaille opiskelijoille mahdollisuuden tehdä koulussa sellaista, mihin muuten välttämättä ei ole mahdollisuutta.

## 1.2 Tutkimuksen tekemisen tavoitteet

Tutkimukselle asetetut tavoitteet ohjaavat tutkimuksen tekemistä ja sen arviointia. Tavoitteet voidaan määritellä koulun tutkimuskurssin tavoitteissa tai yhteisesti opiskelijoiden kanssa tutkimuksen tekemisen alussa.



Tutkimuksen tekemiselle voidaan asettaa tiedollisia, taidollisia sekä asenteellisia tavoitteita. Ne voidaan jakaa tutkimuksen teon osalta myös yksityiskohtaisempiin tavoitteisiin (taulukko 2). Opettaja voi painottaa tutkimuksen tekemisessä yhtä tai useampaa tavoitetta. Tutkimuksen toteutus ja arviointi toteutetaan asetettujen tavoitteiden mukaisesti.

TAULUKKO 2. Tutkimuksen tekemisen eri tavoitteita

Opiskelija oppii
<ul style="list-style-type: none"><li>• tutkimuksen suunnittelua:<ul style="list-style-type: none"><li>a) kokonaissuunnittelua ja</li><li>b) käytännön työskentelyn suunnittelua</li></ul></li><li>• etsimään luotettavaa tietoa kirjallisuudesta ja eri tietolähteistä (esim. Internet)</li><li>• käytännön laboratorio/kenttätyöskentelyn valmistelua (välineiden testaus/liuosten valmistus ja tarkistus, työturvallisuuden huomioiminen, tutkimusmenetelmään perehtymistä jne.)</li><li>• havaintojen, tulosten ja kokemusten kirjaamista tutkimuspäiväkirjaan</li><li>• tutkimusaineiston keräämistä esim. kokeellisesti ja käsittelyä</li><li>• tulosten käsittelyä (esittämistä graafisesti, taulukkoina jne.)</li><li>• tulosten analysointia ja johtopäätösten tekemistä</li><li>• tulosten arviointia (esim. virheanalyysi)</li><li>• tutkimusraportin laatimista</li><li>• tutkimussuunnitelman ja tutkimustulosten esittämistä suullisesti</li><li>• keskustelemaan aiheesta ohjaajan ja/ tai ryhmän kanssa</li><li>• ryhmätyöskentelyä ja/ tai itsenäistä työskentelyä</li><li>• oman/ muiden työskentelyn arviointia</li><li>• hyödyntämään tieto- ja viestintätekniikka monipuolisesti</li></ul>

Nykyoppimiskäsityksen mukaan opiskelun mielekkyyttä voidaan lisätä, kun opettaja on tietoinen oppilaansa aikaisemmista tiedoista, käsityksistä ja uskomuksista opiskeltavista asioista. Opiskelijan tulisi tunnistaa omaa ajatteluaan, tiedostaa uskomuksiaan ja käsityksiään sekä pohtia niiden merkitystä omassa oppimisessa. Aikaisemman tiedon aktivointiin voi tutkimuksen ohjaamisessa käyttää erilaisia tapoja, muun muassa täytetään sitä varten tehtyyn lomakkeeseen sarakkeet: mitä tiedän? mitä haluan tietää? ja mitä olen oppinut?, kirjoitetaan vapaasti ajatuksista esimerkiksi oppimispäiväkirjaan, käytetään käsittekarttoja, suunnitellaan ja toteutetaan laboratorio-kokeita jne. Tutkimuksen alussa opiskelijat voivat esimerkiksi oppimispäiväkirjassa pohtia seuraavia kysymyksiä ja/ tai niistä voidaan yhdessä keskustella: Mitkä tavoitteet ovat minulle tärkeitä tutkimuksen tekemisessä? Miksi tavoitteet on minusta edellä mainituissa tavoitteissa tärkeitä?



## 2 Aikaisemmat tiedot ja taidot

### 2.1 Tarvitaanko niitä?

Oman luonnontieteellisen tutkimuksen tekemiseen voi varmasti ryhtyä ilman mitään pakollista luonnontieteellisen tutkimuksen tekemisen harjoituskurssia. Opiskelija voi ryhtyä tutkimuksen tekemiseen, kun hänellä on tutkimukseen sopiva aihe ja riittävästi aiheeseen liittyvää mielenkiintoa. Tällainen aihe voi tulla opiskelijalle mieleen yllättäen tai sitä erityisesti pohtien. Aihe parhaimmillaan liittyy aina jotenkin opiskelijan omaan kokemusmaailmaan.

Toisaalta opettaja voi myös merkittävästi vaikuttaa tutkimusaiheen löytämisessä. Opettajalla on mahdollisuus esimerkiksi opetuksessaan herättää opiskelijoiden mielenkiintoa tutkimaan jotakin asiaa perusteellisemmin, mitä oppituntien aikana on mahdollista.

Tietty teoriapohja on toivottavasti rakentunut opiskelijalle aikaisemmillä luonnontieteiden tunneilla. Hyvä olisi, jos koulussa opetus olisi valmiiksi tutkimuskeskeisiä työtapoja käyttävää ja opiskelijalla olisi ollut mahdollisuus opiskella perusmenetelmät työkursseilla ennen oman tutkimuksen tekoon ryhtymistä. Mikäli sekä teoria että käytännön työskentely ovat uusia, saattaa tutkimuksen tekemisestä tulla puuduttavan hankalan tuntuista.

Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi luonnontieteellisessä tutkimuksessa korostuu tiettyjen taitojen hallinta, joista keskeisiä ovat tutkimuksen tekemiseen liittyvät suunnittelutaidot, tulosten keräämiseen ja analysointiin liittyvät taidot sekä taidot arvioida saatuja tutkimustuloksia. Taidot eivät ole itsestään selvyksiä, vaan usein harjoittelemisen tulosta. Tähän tarkoitukseen tavalliset oppilastyöt luonnontieteellisissä aineissa, biologiassa, kemiassa ja fysiikassa ovat erinomaisia. Oppilastöitä voidaan tehdä siten, että harjoitellaan vaikkapa vain yhtä taitoa kerrallaan. Tosin mahdottomuus ei ole sisällyttää kaikkien taitojen harjaannuttamista yhden ainoan työn tekemiseen.

Työkursseilla voidaan perusmenetelmiä harjoitella valmiiden pikkututkimusten avulla. Työkursseille voi valita klassisia 1800- ja 1900-luvun alkupuolen tutkimuksia. Vaikka opettajasta ne tuntuvat vanhahtavilta ja niitä on tehty jo ehkä opettajan omana koulu- tai opiskeluaikana, ovat ne yksinkertaisuudessaan usein erinomaisia. Niistä opiskelija myös oppii näkemään, että kaikki ihmiskunnan tieto on saatu tutkimuksen kautta pienen pieninä palasina. Näin syntyy myös kriittisyys tietoon.

Tärkeää olisi kirjoittaa kustakin kokeellisesta työstä pienikin työselostus/raportti, jossa on vaikka seuraavat luvut:

- johdanto ja tarvittavat välineet
- menetelmät
- työn tulokset
- tulosten tarkastelu ja virhearviointi,



Toisaalta mikäli pieniä kokeita tehdään paljon, voi opettaja itseään ja opiskelijaa säästääkseen harkita etukäteen mitä osa-alueita kussakin työryhmässä harjoitellaan.

Englannissa A-tason tutkinnossa ja kansainvälisessä IB (International Baccalaureate) -tutkinnossa jo tutkimuksen tekemisessä tarvittavien taitojen hallintaa mitataan tarkkojen arvosteluohjeiden mukaisesti seuraavasti:

A-tason tutkinnossa arviointi on jaettu kolmen osa-alueen arvosteluun. Ne ovat:

- A) suunnittelu
- B) toteutus
- C) tulkinta ja johtopäätökset.

Kunkin osa-alueen arvostelu on puolestaan jaettu kuuteen arvostelukriteeriin. Jokaisen kriteerin kohdalla arvioidaan asteikolla 0–2 kuinka hyvin opiskelija on täyttänyt kriteerin vaatimukset.

- 2 = kriteeri täyttyy hyvin
- 1 = kriteeri on osittain täyttynyt ja
- 0 = kriteeri ei ole täyttynyt.

Näin jokaisesta osa-alueesta opiskelijan on teoriassa mahdollista saada 12 pistettä.

IB-tutkinnon kokeellisuuden arvioinnissa osa-alueet ovat

- tutkimuksen teoreettinen suunnittelu (A)
- käytännön suunnittelu (B)
- tiedonkeruu (C)
- tulosten käsittely (D) ja
- arviointi (E).

Kunkin osa-alueen kohdalla arvosana määräytyy asteikolla 0–3 opiskelijan tuottamien kirjallisten raporttien perusteella, ja opiskelijan on siis mahdollista saada yhteensä näistä taidoista 15 pistettä. Lisäksi opettaja arvostelee hänen

- käytännön taitojaan (F) ja
- persoonallisia ominaisuuksiaan tutkijana kahdella eri osa-alueella (G ja H)

siten, että hän voi vielä kirjallisten näyttöjen lisäksi saada 9 pistettä ja kaiken kaikkiaan siis yhteensä 24 pistettä (ks. tarkemmin taulukko 3 ja taulukot 4a ja 4b).

TAULUKKO 3. Kokeellisuuden arvioinnissa käytetty kriteeritaulukko

Taito	Kriteeri	Täydellisesti (T) Osittain (O) Ei ollenkaan (E)	Taso (0–3)
A Suunnittelu (a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tutkimuskysymyksen esittäminen</li> <li>Hypoteesin muotoileminen perusteluineen</li> <li>Muuttujien valinta</li> </ul>		
B Suunnittelu (b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tutkimukseen tarvittavat välineet ja aineet</li> <li>Vakioitavien muuttujien tunnistaminen</li> <li>Tulosten keräämiseen valittu menetelmä</li> </ul>		
C Tiedon keruu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Havaintojen/tulosten kerääminen</li> <li>Havaintojen/tulosten esittäminen</li> </ul>		
D Tulosten analysointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tulosten käsittely</li> <li>Käsiteltyjen tulosten esittäminen</li> </ul>		
E Arviointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tulosten tulkinta/Johtopäätösten tekeminen</li> <li>Tutkimusmenetelmän arviointi</li> <li>Menetelmän modifiointi</li> </ul>		
F Käytännön taidot	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratoriotyötekniikan turvallinen hallinta</li> <li>Ohjeiden ymmärtäminen/noudattaminen</li> </ul>		
G Henkilökohtaiset taidot (a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toimeen tuleminen ryhmätyöskentelyssä</li> <li>Muiden ryhmän jäsenten työpanoksen arvostaminen</li> <li>Rakentava osallistuminen ryhmätyöskentelyyn</li> </ul>		
H Henkilökohtaiset taidot (b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Työmotivaatio ja peräänantamattomuus</li> <li>Eettisten näkökulmien huomioon ottaminen</li> <li>Ympäristökysymysten huomioon ottaminen</li> </ul>		

TAULUKKO 4a. Opiskelijan saavuttaman tason määrittämiseen käytetty matriisitaulukko tapauksissa A, B, C, D ja E

Taso	3			2			2			2			1		
Täydellisesti Osittain Ei ollenkaan	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit		
Taso	1			1			1			0			0		
Täydellisesti Osittain Ei ollenkaan	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit			Kriteerit		

TAULUKKO 4b. Opiskelijan saavuttaman tason määrittämiseen käytetty matriisitaulukko tapauksissa F, G ja H

Taso	3		2		1		1		0		0	
Täydellisesti	*	*	*		*		*	*	*			
Osittain				*						*		
Ei ollenkaan						*					*	*
	Kriteerit		Kriteerit		Kriteerit		Kriteerit		Kriteerit		Kriteerit	

## 2.2 Kokeelliseen työtapaan harjaannuttaminen

Seuraavassa esitellään yhtä tapaa, jota käytetään luonnontieteellisessä tutkimuksessa tarvittavien taitojen harjaannuttamiseen Helsingin Suomalaisen Yhteiskoulun kemian IB-opetuksessa ja nykyään myös saman koulun lukio-opetuksessa. IB-opetuksessa taitojen hallinta otetaan huomioon opiskelijan kyseisen aineen loppuarvioinnissa 24 %:n painotuksella, ja siksi on tärkeää, että arviointi on mahdollisimman oikeudenmukaista ja opettajasta riippumatonta. Esimerkillä pyritään myös kertomaan tarkemmin arviointikriteereistä ja miten niistä lopulta muodostuu edellä mainittu prosenttiosuus opiskelijan lopulliseen arvosanaan.

On hyvä aloittaa sellaisella työllä, jossa itse asiasisältö on mahdollisimman yksinkertainen. Tällaiseksi soveltuu esimerkiksi kemiallisen yhdisteen empiirisen kaavan määrittäminen kokeellisesti. Tutkitaan magnesiumin palamisreaktiota ja tunnistetaan palamistuote magnesiumoksidiksi määrittämällä tuotteen empiirinen kaava. Tehtävänä on siis magnesiumoksidin palamisreaktion suorittaminen, saadun tuotteen punnitseminen ja punnitustuloksesta laskettavan empiirisen kaavan vertaaminen teoreettisesti pääteltyyn empiiriseen kaavaan. Kokeellisesti saatu tuotteen empiirinen kaava eroaa usein paljonkin teoreettisesta, mutta voidaan myös saada täsmäämään, jos pystytään välttämään koejärjestelyissä kaikki ne tekijät, jotka vääristävät tulosta.

Koejärjestelyjen sekä menetelmällinen että käytännössä tekemisen suunnittelu koetaan yleensä mielenkiintoisena ja haastavana. Työn menetelmällinen suunnittelu vaatii perehtymistä työn keskeisiin käsitteisiin. Tässä keskeisiä käsitteitä ovat kemiallinen yhdiste ja yhdisteen empiirinen kaava. Toisaalta tarvitaan näkemystä siitä, miten on mahdollista saada selville kokeellisesti sisältäkö kyseinen yhdiste todellakin yhden happiatomin jokaista magnesiumatomia kohti. Ei pidä kuvitella, että kaikki opiskelijat itse keksivät tähän työhön sopivan menetelmän. Tarvitaan paljonkin ohjausta. Idea siitä, että palamistuote on magnesiumoksidia ja palamistuotteen massa on suurempi kuin lähtöaineen, tässä tapauksessa magnesiumin, on vain lähtökohta koejärjestelyjen suunnittelulle. Tarvitaan myös näkemystä siitä, miten palamisreaktio toteutetaan ja ennen kaikkea miten tuotteen kerääminen talteen onnistuu käytännössä.

Voisi melkein väittää, että on aivan mahdottomuus tietää ilman niin sanottuja esikokeita, miten magnesiumin palamisreaktio on suoritettava tässä yhteydessä, jossa reaktiotuote on saatava kerättyä talteen mahdollisimman täydellisesti. Ensimmäisen kokeellisen työn kyseen ollessa voi melkeinpä

suositella ohjeen antamista lyhyen yhteisen pohdinnan jälkeen. Kuumennetaan punnittua magnesiummäärää avoimessa hehkutusupokkaassa, kunnes magnesiumin palamisreaktio on havaittavissa. Suljetaan upokas kannella ja jatkekaan kuumentamista, mutta raotetaan kantta ajoittain, jotta reaktio ei päättyisi hapen puutteeseen.

Tässä yksinkertaisessa työssä opiskelija oppii näkemään työn suunnittelun vaativuuden. Hän oppii myös hyväksymään luonnollisena asiana sen, että kaikissa tutkimuksissa tarvitaan kokeiluja ennen kuin sopiva menetelmä löytyy. Lopputuloksen arvioinnissa on taas kiinnitettävä huomioita mahdollisiin virhetekijöihin. Niiden onnistunut välttäminen vaatii niiden tiedostamista jo työn tekemisessä ja se onnistuu parhaiten, kun niitä osataan ennakoita etukäteen. Siksi suunnittelussa on huomioitava myös koejärjestelyissä esiintyvät muuttujat, mitattavat ja ei-mitattavat, mutta kuitenkin kontrolloitavat. Opiskelijan täydelliseen menetelmälliseen suunnitteluun vaaditaan paitsi

- 1) tutkimuskysymyksen esittäminen ja sen selittäminen myös
- 2) hypoteesin tuottaminen perusteluineen ja
- 3) työssä esiintyvien muuttujien valinta.

Kokeellisen työn käytännön tekemisen suunnittelussa vaaditaan

- 1) yksityiskohtainen aine- ja välineluettelo
- 2) työohje ja
- 3) ei-mitattavien mutta kontrolloitavien muuttujien selvittäminen.

Mittauslaitteisiin ja laboratoriovälineisiin liittyvät virhemahdollisuudet on arvioitava ja tämä muodostaakin oleellisen osan työn suunnittelusta. Esimerkkityössä tämä tarkoittaa vaa'an tarkkuuden merkityksen pohtimista ja työssä poltettavan magnesiumin määrän valintaa.

Itse työn mittaustulosten kirjaaminen ei ole hyvän etukäteissuunnittelun jälkeen vaativaa. Totuttelua löytyy kuitenkin niin sanottujen laadullisten havaintojen tekemisessä työn aikana. Hyvä tutkija tekee havaintoja esimerkiksi tässä esimerkkityössä reaktion kestosta, reaktion nopeudesta, jota tässä voidaan seurata magnesiumin hehkumisvoimakkuudesta ja lopputuotteen väristä. Hyvä tutkija myös pyrkii toistamaan kokeen mahdollisimman tarkkaan samoissa olosuhteissa.

Mittaustulosten analysoinnissa vaaditaan selkeää ja johdonmukaista esitystä. Laskuissa on otettava huomioon mittaustulokset virheineen silloin, kun mittaustuloksiin sisältyy määrällisesti arvioitavaa virhettä.

Kokeellisen työn arviointi suoritetaan kolmesta eri näkökulmasta. Opiskelijan pitää kyetä antamaan työstä jättämässään raportissaan selkeä johtopäätös/lopullinen tulos virherajoineen mittaustulosten perusteella. Hänen tulee osata arvioida tulosta työn tekemisessä käytetyn menetelmän puitteissa ja hänen on löydettävä menetelmän mahdolliset puutteet, heikkoudet tai suorastaan virheet. Lisäksi opiskelijan on myös kyettävä uudistamaan koetta siinä tapauksessa, että menetelmässä on puutteita tai heikkouksia. Hänen on modifioitava koejärjestelyjä niin pitkälle kuin se suinkin on mahdollista. Hän voi rajoittaa tarkastelunsa koululaboratorion mahdollisuuksiin, mutta on toivottavaa, että hän pohtii myös mahdollisuuksia, jotka ehkä voitaisiin toteuttaa jossakin koulun ulkopuolisessa tutkimuslaboratoriossa.

Sääntönä on, että opiskelija voi saada arvosanan jommassakummassa suunnittelun osa-alueessa tai kummassakin, kun hänellä on ennen tutkimuksen aloittamista kirjoitettuna tutkimuksen teoreettinen tai käytännön suunnitelma, jompikumpi tai molemmat, valmiina opettajalle arvosteltavaksi. Kokeellisen työn tekemisen jälkeen hän voi jättää vielä samasta työstä raportin, josta opettaja voi arvioida hänen taitojaan tiedon keruussa, niiden käsittelyssä ja koko työn arvioinnissa. Esimerkiksi arvioinnin osalta (osa-alue E) opettaja merkitsee opiskelijan työstä jättämään raporttiin, onko raportissa selvästi nähtävissä, että opiskelija on osannut tiivistää työstä lopputuloksen virherajoineen täydellisesti, vaiko vain osittain tai ei ollenkaan (*kriteeri 1*). Vastaavasti opettaja merkitsee opiskelijan raporttiin, onko opiskelija käsitellyt menetelmän puutteita, heikkouksia jne. (*kriteeri 2*), ja kolmanneksi opettaja arvioi opiskelijan kykyä parantaa käytettyä tutkimusmenetelmää (*kriteeri 3*). Opiskelijan saavuttama taitotaso määräytyy lopuksi taulukon 4a ja 4b matriisitaulukoiden mukaisesti. Esimerkiksi opiskelija voi saada arvosanan kolme vain silloin, kun kaikki kolme kriteeriä ovat täyttyneet täydellisesti. Koko opiskelujakson aikana opiskelijan on raportoitava vähintään kaksi käytännön työtä jokaisen taidon arviointia varten.

Edellä kuvattua arviointimallia opettaja käyttää myös antaessaan arvosanaa opiskelijan taidoista selviytyä käytännön tekemisissä, hänen henkilökohtaisista taidoistaan tulla toimeen muiden oppilaiden kanssa ja oppilaan asenteista yleensä tutkimuksen tekemisessä. Tämä arviointi ei kuitenkaan ole rajoittunut tiettyihin töihin vaan kohdistuu koko opiskelujakson käytännön työsuuteen.

Kaiken kaikkiaan siis opiskelija saa numeroarvosanan kahdeksasta eri taidosta, jotka yhteen laskettuna parhaimmillaan tuottavat 24 pistettä.

## 3 Tutkimuksen tekemisen edellytykset

### 3.1 OPS ja ohjaus

Opiskelijan innostaminen itsenäisen tutkimuksen tekemiseen vaatii vähintäänkin jonkinlaisia käytännön järjestelyjä koulun taholta. Vain hyvin harvat opiskelijat pystyvät täysin itsenäisesti sellaiseen pitkäjänteiseen työrupeamaan, mitä tutkimuksen tekeminen edellyttää, vaikka heiltä itseltään löytyisikin mielekkäitä tutkimusaiheita. Nuorten tutkijoiden palkitseminen vuosittain kansallisella tasolla erilaisissa kilpailuissa on lisännyt tehtyjen tutkimusten määrää, mutta tulosten perusteella tutkimusten valtaosa muodostuu kuitenkin tutkimuksista, joissa koulu on ollut tavalla tai toisella tutkimusprosessissa mukana.

Varmin tapa lisätä nuorten kiinnostusta tieteelliseen tutkimukseen on luoda edellytykset sille, että kaikki opiskelijat saavat mahdollisuuden kokeilla tieteen tekemistä. Tämä voi tapahtua esimerkiksi siten, että yksittäinen opettaja omassa aineessaan johdattelee opiskelijansa tutkimuksen tekemiseen joko ryhmätöinä (sopiva ryhmäkoko on 2–3 oppilasta) tai opiskelijoiden itsenäisinä suorituksina.

Tutkimuksen tekeminen voidaan koulun arjessa järjestää useilla eri tavoilla. Työkurssin lisäksi voidaan opetussuunnitelmassa tarjota tutkimuskurssia, jolla tutkimus olisi tarkoitus tehdä. Tämä lisää opiskelun valinnaisuutta varsinkin, jos tutkimuksen voi suorittaa opiskelijan itse valitsemassa aineessa lukion tuntijaossa lueteltujen oppiaineiden joukosta. Toisaalta tämä lisää valinnaisuutta myös opiskelun syvyydessä.

Tutkimuskurssille voi lukujärjestyksessä olla määrätyt tunnit. Kurssin hyvänä puolena on se, että tutkimuksen teolla on ajallisesti alku ja loppu. Mikäli tunnit ovat lukujärjestyksessä opiskelijalla on varmuus, että tutkimus etenee ja apua on tarvittaessa paikalla. Ongelmana lukujärjestykseen sijoitetulla kurssilla on jakson lyhyys. Viisijaksojärjestelmässäkin jakson pituus on vain 6–7 viikkoa, joka aikana on lyhyt oman tutkimuksen tekemiselle. Toinen ongelma ainakin biologisissa tutkimuksissa on, että opiskelijoiden näytteenotto vaihtelee aiheen mukaan, eikä välttämättä lainkaan sovi tutkimuskurssin ajankohtaan. Edelleen koulusta voi löytyä muutama opiskelija, jotka mahdollisesti haluaisivat tehdä oman tutkimuksen, mutta kokonaista ryhmää (jolla kurssi perustettaisiin) ei löydy minään vuonna. IB -kouluissa jokainen opiskelija tekee oman tutkimuksen, jolloin tätä ongelmaa ei tule. Olarin matematiikka- ja luonnontiedelukiossa opiskelijalla on mahdollisuus kerätä tutkimusaineisto useammallakin kurssilla, josta pitäisi omalla ajalla työstää tutkimusraportti. Oman aineiston voi kerätä myös kesällä. Tässä mallissa lukujärjestyksessä ei siis koskaan ole tutkimuskurssia. Tällaisessa mallissa opettajan palkkauksesta täytyy pitää huolta. Jotta tutkimuksen tekemisestä tulisi osa koulun kulttuuria, tulee ohjaavalle opettajalle maksaa ohjaustyöstä, oli tutkimuskurssi lukujärjestyksessä tai ei.



Tutkimuksen ohjaaminen on erilaista työtä kuin opettaminen. Usein tuntuu, että ohjaamiseen menee paljon aikaa ja tulosta tulee vähän. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole, koska tutkimisen ideana on se, että opiskelijan päässä tapahtuu asioita moninkertaisesti verrattuna siihen, mitä hän lopulta kykenee tuottamaan paperille.

### 3.2 Ilmapiiri

Tutkimuksen teko vaatii toteuttajaltaan oivallusta ja ennakkoluulotonta mieltä. Parhaat keksinnöt ovat usein hyvin yksinkertaisia. Keksinnöt ovat myös aikaan ja mieleen sidottuja. Keksintöjä voidaan tehdä myös eri tasoilla, opiskelijan tasolla, koulun tasolla, valtakunnan tasolla ja maailman tasolla. Opettajan on hyvä muistaa, että opiskelijan, joka ensimmäistä kertaa suunnittelee omaa tutkimustaan, ei ole rasitteenaan kaikkea sitä teoreettista tietoa, mitä tutkijayhteisön tutkijalla on. Se voi auttaa ajattelemaan laiveasti ja ennakkoluulottomasti. Se voi auttaa tekemään vaikka kuinka suuria keksintöjä. Ilmapiirin tulisi olla omaa ajattelua kunnioittava. Opiskelijat ovat hyvin herkkiä aistimaan virheitä etsivän ilmapiirin. Silloin mieli ei enää toimi vapaasti. Tätä ennakkoluuttomuutta ei ryhmässä saisi kyseenalaistaa ja siten laimentaa tutkimuksen iloa.

Kannustavalla arvioinnilla tutkimuksen eri vaiheissa voidaan muun muassa vaikuttaa positiivisen ilmapiirin syntymiseen. Myös kiehtovat tarinat tutkimuksen tekemisestä voivat innostaa ja kannustaa tutkimuksen tekemiseen.

### 3.3 Resurssit

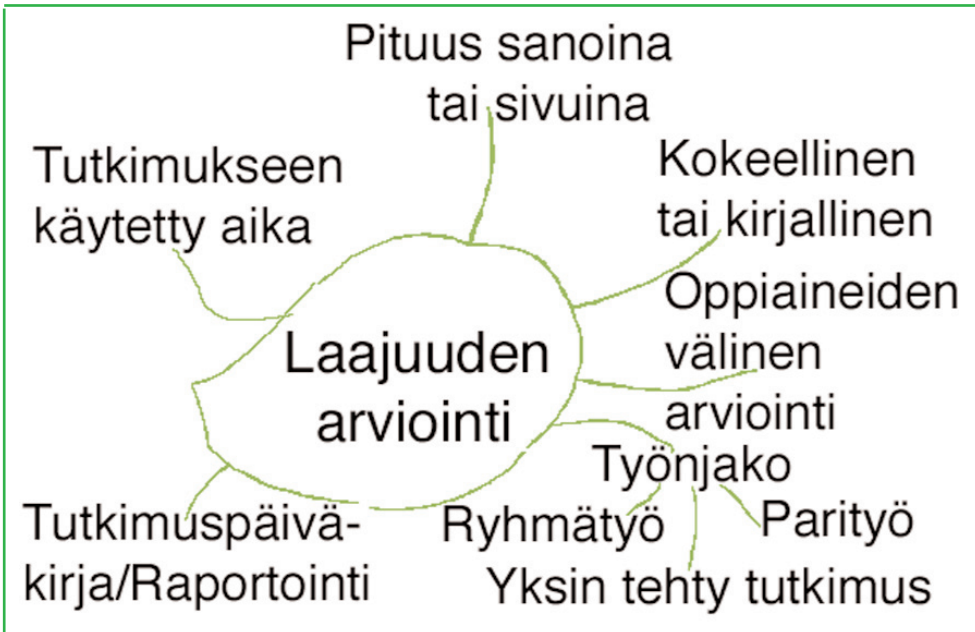
Taalu ja liitu eikä edes piirtoheitin ole riittävä välineistö luonnontieteelliseen tutkimuksen toteuttamiseksi. Tutkimuskeskeinen oppiminen vaatii väistämättä laboratoriotiloja, -laitteita ja -välineitä sekä usein kohtalaisen paljon kuluvia reagensseja ja muita materiaaleja. Ainakin peruslaitteisto ja välineistö perusmenetelmien opiskelua varten tulisi koulusta löytyä. Reagenssit ja välineet ovat kuluva tavaraa, joiden varastoja pitäisi vuosittain olla mahdollista täydentää.

Onneksi nykyään uusiin kouluihin rakennetaan laboratoriotilat kokeellista työskentelyä varten. Vanhoja saneerattaessa olisi hyvä muistaa suunnitteluvaiheessa myös laboratoriotilat. Kaikkia hienoja laitteita ei koululla tietenkään tarvitse eikä voikaan olla. Opettaja voi ohjata opiskelijaa käyttämään tutkimuksessaan koulussa valmiina olevia laitteita tai lainaamaan jossain muualla olevia laitteita. Joskus opiskelija voi myös itse rakentaa tutkimuslaitteiston. Mikäli tutkimus vaatii selkeästi hienompia laitteita tai laitteistoja kuin mitä koululle voi lainata, voi opettajalla olla mahdollisuus ohjata opiskelija tekemään tutkimuksensa käytännön osat jossakin tutkimuslaitoksessa tai yrityksessä. Usein tällöin tarvitaan myös ohjausta laitteiden käyttöön. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla olevassa opetukseen tarkoitettussa Kemiran kemian luokassa on mahdollista tehdä laajempiakin tutkimuksia oikeilla tutkimusvälineillä oikeassa tutkimusympäristössä.



## 4 Tutkimuksen laajuus

**T**utkimuksen laajuutta voidaan tarkastella monista näkökulmista katsottuna. Oheiseen kuvaan on kerätty joitakin keskeisiä tekijöitä, joiden suhteen tutkimusta voidaan tarkastella.



KUVA 1. Keskeisiä tekijöitä tutkimuksessa

### 4.1 Kokeellinen tai kirjallisuuteen perustuva tutkimus

**K**oulussa tehtävien tutkimusten yhdeksi yleiseksi vaikeudeksi on koettu kerätyn tiedon esittäminen. Näyttää nimittäin siltä, että varsinkin kirjallisuuteen perustuvan tiedon keräämisessä, löydettyä tietoa käytetään usein sellaisenaan, suoraan lähteistä omaan tutkimusraporttiin. Tässä jää hyödyntämättä yksi oppimisen kannalta tärkeä prosessi. Se on oman tulokinnan tekeminen koottujen tietojen pohjalta. Tämä on vaikea prosessi ja vaatii harjoittelua. Tämän taidon oppimiseksi on tärkeää, että tutkimuksen aivan alkuvaiheessa, tutkimusaiheen valinnassa ja suunnittelussa, opiskelijoiden toiminta olisi tutkimusorientoitunutta. Tämä tarkoittaa, että korostetaan päämäärää, johon pyritään. Tarkoitus on etsiä ratkaisuja alussa asetettuihin kysymyksiin. Tutkimuksen kulkuun sisältyy välttämättä vaiheita: ongelman hahmottaminen ja muotoileminen, tutkimusmenetelmien valitseminen, tietojen kerääminen, tulkitseminen, johtopäätökset ja arvioiminen. Jos sitten opiskelija päättää tutkimusongelman luonteesta johtuen, että tutkimusmenetelmäksi ei ole mahdollista sisällyttää kokeellista tutkimusta, hänen kuitenkin tulisi tiedostaa tutkimukselle keskeisen ongelmanratkaisun vaatimus.

## 4.2 Yksin vai yhdessä?

**T**utkimus voi olla yksin, parin kanssa tai ryhmässä tehty työ. Ei ole ole-massa suositusta, mikä olisi paras vaihtoehto. Oppilaiden harjaannutta-minen keskinäiseen sosiaaliseen vuorovaikutukseen on eittämättä sinänsä mielenkiintoista ja tärkeää ja tämän tyyppinen työ siihen erinomaisen sopi-va.

Työn arvioinnin kannalta ryhmässä tehty työ on erilainen kuin yksin tehty ja pitää olla siksi arvostelussa huomioon otettu. Oppilaan henkilökohtainen panos ryhmän työskentelyssä on oltava osoitettavissa.

Jouheasti vastuuta voidaan jakaa esimerkiksi eri oppiaineiden avulla. Ryh-män yksi jäsen ottaa huolehtiakseen työn kemiallisen näkökulman esille-tuomisesta kun taas joku toinen fysiikan tai biologian näkökulman. Tällai-nessa luokan yhteisessä projektityössä vastuuta voidaan jakaa yhtä onnistu-neesti myös tutkimusmenetelmien perusteella. Tosiasiahan on, että luon-nontieteellinen tutkimus parhaimmillaan vaatii usein useamman tutki-musmenetelmän käyttämistä toisiaan täydentävästi.

Ryhmätyömuoto luonnontieteellisissä tutkimuksissa on suosittua myös kansainvälisesti. IB-kouluissa opetusohjelmaan kuuluu luonnontieteellisten aineiden projektityö, jossa korostetaan samalla ns. systeemiajattelun merki-tystä. Systeemiajattelun avulla opiskelijoilla on mahdollisuus keskittyä val-itsemansa tutkimusongelman ratkaisuun syvällisesti. Hän tulee samalla tietoiseksi, että elämme systeemien keskellä, joiden ymmärtämiseksi tarvi-taan ainakin useamman kuin yhden oppiaineen osaamista. Systeemit ra-kentuvat ja muuttuvat luonnon ja ihmisten toiminnan kautta. Systeemeistä laadittujen mallien avulla voidaan todellisuutta ymmärtää ja ennakoida pa-remmin. Opiskelijat voivat tutkimuksissaan laatia omia malleja yksinkertai-sista tilanteista ja pyrkiä löytämään kaikkein oleellimmat piirteet tutkitta-vasta ilmiöstä, ja tutkia sitten laadittujen mallien ennusteita havaintoihin etsien niiden yhteisiä ja erottavia piirteitä.

Ryhmätöinäkin suoritettavissa tutkimuksessakin toki yksilöllinen työ on mahdollista ja jopa suositeltavaa, jos se opiskelijan näkökulmasta on paras vaihtoehto. Hyvin yksin tehdyssä työssä esiintyy myös sosiaalista vuoro-vaikutusta, vaikka ei olekaan samanlaista kuin ryhmässä tehdyssä tutki-muksessa. Tämä tulee esimerkiksi esille yhteyksien luomisessa työn ku-luessa. On käytetty vaikkapa ansiokkaasti asiantuntijoiden apua haastatte-lemalla heitä tai ottamalla puhelin- tai sähköpostiyhteyksiä tai vähintäänkin pidetty yhteyttä ohjaajaan asiaan kuuluvalla tavalla. Ei pidä myöskään unohtaa sitä, miten projektityön alku- ja loppuvaihe ovat yhteistyötaitoja vaativia vaiheita. Yhteissuunnittelu, ryhmien muodostuminen joustavasti ja oman vastuualueen löytäminen, vaativat taitoja, joita jopa pitää harjoitella etukäteen. Samoin ryhmätutkimuksen loppuvaihe vaatii toisten huomioi-mista. Miten esittää muille ryhmän jäsenille omat tutkimustulokset? Esi-tyksen onnistumiseksi voidaan pohtia jopa etukäteen tätäkin asiaa. Mah-dollisuuksia esitystapaan on monia, mutta hyvään esitykseen vaadittavia ominaisuuksia ovat aina oleellisten johtopäätösten selkeä esittäminen ja yleisön tavalla tai toisella mukaan saaminen.

### 4.3 Tutkimusraportin pituus

Tutkimusraportin tarkkaa pituutta voi olla vaikea määrittää. Hyvä on kuitenkin rajata pituus jotenkin. Usein hyvin pitkä raportti paranee, kun tekstiä vähän tiivistetään tai päinvastoin. Kymmeneen konekirjoitusliuskaan tai keskimäärin noin 4 000 sanaan saa mahtumaan jo hyvinkin kattavan tutkimuksen. Riippuen kuitenkin tutkimuksesta käytettyjen sanojen määrä voi varmasti vaihdella ainakin 10 %:lla. Pitkien raporttien tapauksissa voi aina miettiä, mitä voisi ottaa pois varsinaisesta tekstistä ja lisätä liitteiksi. Työ avautuu lukijalle varmasti parhaiten, kun raportti on napakka ja selkeä.

### 4.4 Eri oppiaineita integroiva tutkimus

Luonnontieteiden opetuksessa jonkin ilmiön tai aihealueen oppimisessa saattaa tulla vaikeuksia sen tähden, että asia opetetaan hyvin kapeasti vain tietyn yhden oppiaineen puitteissa. Opettaja ei ehkä osaa tai ei halua ottaa esille toiseen oppiaineen näkökulmaa opetettavaan asiaan tai oppilaat eivät yksinkertaisesti hyväksy kuin yhden oppiaineen näkökulman yhdellä oppitunnilla. Kokonaisvaltainen asianhallinta jää kyseenalaiseksi ja haittaa syvällistä oppimista kyseisessä. Tutkimuksen tekeminen poikkitieteellisesti esimerkiksi kahden oppiaineen alueelle voi olla oppilaalle erittäin antoisaa tässä mielessä. Vaarana saattaa vain olla, että tutkimus jää pinnalliseksi kummassakin oppiaineessa. Erikoisesti kannattaa kahden aineen tutkimuksessa kiinnittää huomiota tutkimusmenetelmän valintaan ja teoriasisältöön, koska arvioinnissahan näillä on keskeinen merkitys. Tilanne on tietysti toinen, kun eri aineiden opettajat yhdessä sopivat yhteistyöprojekteista ja eri alojen asiantuntijoina jakavat vastuuta työn ohjauksessa ja arvioinnissa.

### 4.5 Tutkimukseen käytetty aika

Tutkimukseen käytetty aika riippuu varmasti monista tekijöistä. Ei ole mielekääntä antaa rajattua tuntimäärää, jonka aikana tutkimus tulisi suorittaa.

Tutkimuksen laajuus tässä mielessä voitaisiinkin paremmin arvioida tuotoksen mukaan. Tutkimus voi olla joko yhden kurssin tai kahden kurssin laajuinen riippuen työn sisällöstä. Toimiva ehdotus voisi olla sellainen, että melko suppea tutkimus vastaisi yhtä kurssia ja vähänkin laajempi kahta kurssia. Arviointiin tämä ei kuitenkaan saa vaikuttaa. Erinomaisen tutkimuksen voi tehdä aivan hyvin yhden kurssin laajuudellakin.

## 5 Tutkimuksen suunnittelu

### 5.1 Käytännön vinkkejä tutkimuksen ohjaajalle

- 1) Käy keskustelua tutkimusaiheesta ja sen rajauksesta opiskelijan (tai opiskelijaryhmän kanssa). On tärkeää, että opiskelija itse valitsee oman aiheensa viime kädessä, mutta on hyvä, jos eri aineryhmien opettajat esittelevät tutkimusmahdollisuuksia omien aineryhmiensä osalta. Esimerkiksi rajausta kemian ja biologian välille voi olla opiskelijalle ongelmallista. Biologian tutkimusaiheita tuntuu usein opiskelijoille hahmotuvan helpommin kuin kemian. Tarkemmin aiheita pohdittaessa tutkimus onkin usein lopulta enemmän kemiaa kuin biologiaa. Tutkimus esimerkiksi käyttää kemiallista tutkimusmenetelmää ja tutkimuksen laajuus ylittääkin samalla jo tutkimuksen tekemiselle asetetut vaatimukset. Opiskelijan alkuperäinen aihe saattoi olla hyvä, mutta aiheen käsittelyn kannalta se olikin enemmän kemian tutkimus kuin biologian. Tilanne voi tietenkin myös olla päinvastainen. Opiskelija suunnittelee kemiallista tutkimusta, mutta tutkimuksen ongelma jää selvästi biologiseksi. Tutkimusongelman ratkaisemiseen tullaan vain käyttämään kemiallisia menetelmiä. Voidaan tietenkin kysyä, eikö tutkimuksen tekeminen olekaan siis integraatiota eri oppiaineiden välillä parhaimmillaan? Pitää kuitenkin muistaa, että opiskelijan ensimmäisessä omassa tutkimuksessa aiheen rajausta selkeään yhden aineen tutkimusongelmaan voi olla ratkaiseva tutkimuksen onnistumisen kannalta. Tutkimus olkoon ensisijaisesti jonkin oppiaineen tutkimus, vaikkakin on toivottavaa, että muiden oppiaineiden tietämystä otetaan täydentävästi mukaan.

Aivan alussa tutkimuksen tekemistä suunniteltaessa aiheen valinta voi olla varsin laaja-alaistakin; esimerkiksi jotakin maanviljelykseen, ravintoon tai luonnonsuojeluun liittyvää. Sopivan aihealueen löydyttyä seuraava tärkeä vaihe on tutkimusongelman täsmääminen. Tässä vaiheessa opiskelijoille voi antaa vaikkapa luettelon menetelmistä (ks. tarkemmin taulukko 5), joita on käytetty tutkimusmenetelminä aiemmin tehdyissä kemian tutkimuksissa. Suluissa on mainittu nimeltä tutkimus, jossa kyseistä menetelmää on käytetty. Opiskelijoiden on joskus vaikeata löytää aihetta, jossa ongelman rajaaminen onnistuisi siten, että kokeellisen osuuden tekeminen onnistuisi helposti saatavilla yksinkertaisilla välineillä, joita on olemassa yleisesti koululaboratorioissa. Menetelmäluetteloon tutustumalla opiskelijat ovat saaneet ideoita paitsi tutkimusmenetelmään joskus jopa itse tutkimusaiheeseenkin.

Kannattaa myös tutustua tutkimuksiin, joita on tehty aiemmin. Oppaan lopusta löytyy malliksi kaksi tutkimusta. Molemmilla tutkimuksilla on osallistuttu menestyksellä Young Scientist- kilpailuun. Molempien tutkimusten tekijät ovat palkitut kyseisessä kilpailussa tunnustuspalkinnolla.

- 2) Tutkimusongelman hyväksymisen (ks. tarkemmin Tutkielmasuunnitelman hyväksymiskaavake myöhemmin) jälkeen pohdi joko opiskelijan

esittämän lähdemateriaalin tai kokeellisessa tutkimuksessa tutkimusmenetelmän sopivuutta. Useimmiten opiskelija ei ensimmäistä tutkimusta tehdessään ymmärrä, mikä merkitys lähdemateriaaliin tutustumisella on heti työn alussa. Voi olla suuri pettymys vasta työn tekemisen jälkeen avartaa näkemyksiä tutkimuskohteeseen, joista olisi ollut oleellista hyötyä jo tutkimusasetelmaa suunniteltaessa.

Suosittelavinta olisi, että tutkimukseen löytyisi taustatietoa aivan ensimmäiseksi oppikirjatasolta ja / tai yleistajuisista alan aikakauslehdistä. Tutkimuksen ohjaaja voi tässä vaiheessa vaikuttaa merkittävästi tutkimuksen onnistumiseen. Tutkimuksen päästyä onnistuneesti alkuun myöhemmässä vaiheessa hakusanamenetelmällä tapahtuva aihekirjallisuuteen tutustuminen on varmasti myös paikallaan ja tietysti suositeltavaakin. Myös Internetistä voi löytyä hyviä kirjallisuuslähteitä.

- 3) Sovi työn etenemisaikataulusta opiskelijan kanssa.
- 4) Pidä kiinni sovitusta aikataulusta ja varmista, että opiskelija ymmärtää, että se on hänen oman etunsa mukaista pysyä siinä. Koulu voi riippuen työn pakollisuudesta asettaa aikataulun, josta pidetään tiukasti kiinni. Ohjaaja voi olla käytettävissä muulloinkin kuin sovittuina ajankohtina. Ohjaaja voi olla tavoitettavissa koko tutkimuksen ajan esimerkiksi myös sähköpostitse. Tutkimuskurssin opiskelijoilla ja ohjaajalla voi olla oma keskustelulista Internetissä tai opiskelija on suoraan ohjaajaansa yhteydessä sähköpostitse. Kurssin alussa sähköpostiosoitteet on hyvä kerätä opiskelijoilta ja tiedottaa kaikille osallistujille.
- 5) Tuo esille kiehtovia omia tai entisten opiskelijoiden kokemuksia tutkimuksen tekemisestä. Onnistunut tutkimus on hyvin usein tuonut mukanaan elämyksiä, jotka ovat jääneet koko opiskeluajan parhaimpiin muistoihin. Itsenäinen tutkimus on myös ensimmäinen virallinen tuotos normaalien koulun päättötodistuksien lisäksi, jolla opiskelija voi vaakuuttaa pätevyyttään hakeutuessaan jatko-opintoihin tai työelämään.
- 6) Jos tutkimuksen teossa erityisesti korostetaan yhteisöllistä opiskelua, niin silloin voidaan käyttää apuna erilaisia tieto- ja viestintätekniikan luomia verkostopohjaisia oppimisympäristöjä, esimerkiksi WebCT-ympäristöä (Meisalo ym. 2000) ja tutkimustoryyppisiä oppimisympäristöjä (Aksela & Meisalo 2000). Oppilaat voivat niissä esittää omat tuotoksensa kirjallisesti verkkoon eri tutkimuksen teon vaiheissa (mm. digitaalinen portfolio/oppimispäiväkirja). Opiskelijat ja ohjaajat voivat myös keskustella aktiivisesti oppimisympäristöjen keskustelulistoilla. Kirjallisen kommunikaation on erityisesti todettu lisäävän omien ajatusten syvällistä pohtimista ja erilaisten näkökulmien vertailemista (Hakkarainen ym. 1999).

## Tutkielmasuunnitelman hyväksymiskaavake

TUTKIELMAN ALUSTAVA SUUNNITELMA	
Opiskelijan nimi/ tutkimusryhmän jäsenet: _____	
Kurssin nimi: _____	
Aihealue: _____	
Tutkielman nimi (alustava): _____	
Aihealueen valintaperuste: _____	
_____	
_____	
Työsuunnitelman tiivistelmä – sisältäen tutkimusmenetelmän ja sisältörungon:	
_____	
_____	
_____	
_____	
_____	
_____	
Resurssit ja lähdekirjallisuus (esim. lehdet, kirjat, filmit, www-osoitteet, kokeelliseen työskentelyyn tarvittavat välineet)	
_____	
_____	
Ohjaavan opettajan lyhyt lausunto tutkielman suunnitelmasta:	
_____	
_____	
Ohjaavan opettajan nimi:	
_____	_____
Allekirjoitus	Päivämäärä

## 5.2 Tutkimusaiheen valinta

Aihevalintaan kannattaa kuluttaa aikaa. Aiheesta nimittäin riippuu kuinka työläs ja aikaa vievä tutkimuksesta tulee. Tärkeää on, että aihe on henkilökohtaisesti opiskelijaa kiinnostava ja innostava. Kannattaa myös valita sellainen aihe, mistä opiskelijalle ja/ tai ohjaajalla on edes jotain ennakkotietoja tai yhteyksiä ihmisiin, joilta voi tarvittaessa pyytää apua. Jonkinlaista suunnitelmaa ja aikataulua pitäisi aiheen valinnankin yhteydessäkin miettiä. Tutkimuksen tekemisen tavoitteet ohjaavat toteutusta, kuten käsitelimme luvussa 1.2. Tärkeitä kysymyksiä aihetta valitessa ovat:



- Mitkä ovat tutkimuksen tekemisen päätavoitteet?
- Mitkä ovat koulukohtaiset realistiset mahdollisuudet tutkimuksen tekemiseen ajan, paikan ja resurssien suhteen?

Yksinkertaisuus on valttia aiheen valinnassa. Kun on kysymys tutkimuksesta, johon enimmilläänkin käytetään alle 100 tuntia työskentelyaikaa, ei voi valita mitään kovin monimutkaista.

Aiheen valinnan yhteydessä kannattaa siis miettiä myös jossakin määrin, mitä välineitä, kemikaaleja ja materiaaleja tutkimuksessa tarvitaan. Kouluilla on omat niukat määrärahasensa, joista harvemmin ostetaan välineitä yksittäisiin tutkimuksiin. Välineitä voi saada myös lainaksi. Tutkimukseen tarvittavista välineistä sekä niiden lainauksesta vastaa aina viime kädessä ohjaaja. Joskus selvärajaisen tutkimuksen kokeellisen osuuden voi tehdä jonkin tutkimuslaitoksen laboratoriossa. Tällöin tilan ja välineistön lisäksi usein myös apua toteutuksessa on tarjolla. Tällöinkin suunnittelu, sopiminen ja luvat ovat myös pitkälti ohjaajan harteilla.

Mikäli koulussa järjestetään tutkimuskurssi voi koko ryhmä toimia tutkimusryhmänä, eli kukin ryhmän jäsen tutkii jotain tiettyä yksityiskohtaa suuremmasta tutkimusongelmasta. Opiskelijoiden tutkimusaiheet kuitenkin sivuavat toisiaan sen verran, että syntyy keskustelua ja yhteisestä pohdintaa. Sellaisen tutkimusongelman, jonka voi jakaa, pohtiminen aiheuttaa opettajalle paljon ennakkotyötä. Esimerkkinä tällaisesta tutkimuksesta on Olarin lukiossa tehty tutkimuskokonaisuus Itämeri ja vuodenaajat, jonka osaprojekteina olivat

- 1) Abioottisten tekijöiden vuodenaikaisvaihtelut
- 2) Eliöt jään alla
- 3) Kasviplanktonin vuodenaikaisuus
- 4) Sinilevät
- 5) Eläinplanktonin talvi
- 6) Halkoisjalkaisten vuodenaikaiskierto
- 7) Silakan ravinto eri vuodenaikoina.

Toinen vaihtoehto tutkimuskurssilla on, että opiskelijoilla on itsenäiset aiheet, joiden tutkimisessa opettaja avustaa. Etuna on, että opiskelija voi itsenäisemmin miettiä aiheensa valintaa, näytteenottoa voidaan tehdä pareina eikä opiskelija jää ongelmineen yksin, koska kurssilla on kiinteät kokoontumisajat. Tällöin kuitenkin menetetään näytteenoton tai koejärjestelyjen yhtäaikaisuuden sekä ryhmäkeskustelujen tuoma etu. Seuraavassa on yksi esimerkki toteutetusta tutkimuskurssista myös Olarin lukiossa, jossa opiskelijoilla on ollut omat aiheet:

Kurssilla jokainen oppilas valitsi oman tutkimusongelman. Oppilaita kannustettiin valitsemaan aihe, josta he ovat aina halunneet tietää, mutta siihen ei ole ollut mahdollisuutta normaalien oppituntien puitteissa. Jokainen oppilas teki alustavan tutkimussuunnitelman, jonka kävimme yhdessä tutkimusryhmän (oppilaat) kanssa läpi. Jokainen tutkija sai opettajan avustuksella toiseksi ohjaajakseen tutkijan yrityksestä tai korkeakouluista, jos se oli aiheen tutkimisen kannalta välttämätöntä. Kurssi toteutettiin pääasiassa Kemiran kemian luokasta käsin.



Alussa kaikilla tutkijoilla oli kurssilla yhteinen osuus. Kävimme tutustumassa lääketutkimukseen Orionilla ja lääkkeen elinkaareen. Jokainen tutkija teki myös yhteisen kokeellisen työn nestekromatografiaa käyttäen ja siitä raportin. Sen jälkeen tutkijat hajaantuivat eri yrityksiin ja korkeakouluihin tekemään tutkimusosaansa. Osa tutkijoista työskenteli opettajan kanssa Kemiran kemian luokassa.

Tutkijoiden tutkimusaiheita oli mm. oman kompostin mullan laadun selvitys, syljessä olevan entsyymien toiminta, lannoituksen vaikutus keväiseen meriveteen, molekyylihallitustutkimus, C-vitamiinitutkimus ja järvi-vesitutkimus.

Tutkimustyönsä lopuksi tutkija teki työstään kunnollisen tutkimusraportin, joka myös lähetettiin toiselle ohjaajalle kiitokseksi yhteistyöstä. Kurssin lopussa oli lyhyt yhteenveto.

TAULUKKO 5. Esimerkkejä kemian tutkimusmenetelmistä (suluissa lisäksi tutkimusaihe/ita, joissa menetelmää käytetty)

- Hapetuspelkistytitraus (C-vitamiinipitoisuuden säilyvyys eri hedelmämehuissa)
- Happo-emästitraus (Kola-juoman fosforihappopitoisuus)
- Orgaaninen synteesi (Johtuuko rikkaruohomyrkyt tehokkuus myrkkymolekyylin kolmiulotteisesta rakenteesta?)
- Kromatografia (Mansikkasäilykkeiden punainen väriaine)
- Kalorimetria (Karjanlanta polttoaineena)
- Spektroskopia (Deodoranttien alumiiniyhdisteet, Vesijohtoveden rautapitoisuus /kuparipitoisuus)
- pH-mittaus (Purukumin vaikutus hampaiden kuntoon, Maaperän happamuustutkimus)
- Mittausautomaation käyttö (Katalyyysin vaikutus vetyperoksidin hajoamisnopeuteen)
- Fysikaalisen kemian tutkimus (Mistä johtuu, että eri aineiden fysikaalisten vakioiden arvot poikkeavat toisistaan?)
- Kyselykaavake (Onko koulun kemian opetusmenetelmillä vaikutusta kemiallisten käsitteiden ymmärtämiseen?)
- Laitekehittelyä (Saannon maksimointi orgaanisessa synteesissä?)
- Käytännön töiden kehittelyä (Mitä kaasua syntyy, kun sinkki reagoi kuparisulfaattiliuoksessa ja mitkä tekijät vaikuttavat kaasun muodostumiseen?)
- Gravimetrinen analyysi (Mikä on pikaruoan suolapitoisuus?)
- Sähkökemian (Laimean ruokasuolaliuoksen sähkökemiallinen hajottaminen)
- Epäorgaanisen kemian reaktio (Tutkimus mangaanin/vanadiinin hapetustiloihin)
- Mikrovälineet (Kuinka paljon kemikaalijätettä voidaan vähentää vuoden aikana yhden koululuokan kemian töissä käyttämällä mikrovälineitä?)

### 5.3 Tutkimuksen aikataulusta sopiminen

**T**utkimuksen aikataulusta tulee sopia kurssin alussa. Ohjaaja voi antaa opiskelijalle aikataulusuunnitelman laadittavaksi siten, että siinä on alustavasti merkitty päivämäärät, milloin ohjaaja tulee saamaan opiskelijalta materiaalia.

Jotta opiskelija/opiskelijaryhmä pysyisi aikataulussa, tulisi ohjaajan vaatia tutkielmaa/tutkimusraporttia nähtäväkseen osissa. Esimerkiksi seuraavasti olisi hyvä toimia vaiheittain:

Opiskelija esittää alkuperäisen tutkimussuunnitelman lisäksi

1. vaiheessa: sisällysluettelon ja luettelon taustakirjallisuudesta (käytännössä johdannon)
2. vaiheessa: työselostuksen työn käytännön toteutuksesta ja tuloksista
3. vaiheessa: johtopäätökset.

Johtopäätöksiä opiskelijan ja opettajan olisi hyvä myös pohdiskella yhdessä. Käsikirjoituksen kokonaisuudessaan opettajan tulisi tarkastaa ennakkoon ja ehdottaa lopullisia korjauksia ennen tutkielman lopullista kirjoittamista.

Tutkimuksen tekemisen helpottamiseksi voidaan käyttää myös seuraavalaista lomaketta, jossa tutkimuksen tekeminen on jaettu eri vaiheisiin, ja sisältää tutkimuksen tekemisen aikana opiskelijoiden esittämiä tyypillisiä kysymyksiä ja niihin laadittuja vastauksia.

Lomake: Tutkimuksen tekemisen vaiheet

#### Vaihe 1 Tutkielman alustavan suunnitelman hyväksyttäminen

- *Kuinka aloittaa?*
  - Valitse aihealue, mikä Sinua / tutkimusryhmääsi kiinnostaa.
  - Varmistu, että aihe on hallittavissa. Aihe ei saa olla liian laaja.
  - Laadi alustava työsuunnitelma (ks. tarkemmin vaihe 2).
  - Täytä tutkielman alustavan suunnitelman kaavake (Tutkielmasuunnitelman hyväksymiskaavake) ja toimita se tutkielmasi ohjaavalle opettajalle.

#### Vaihe 2 Aihealueen tarkentaminen ja työsuunnitelman tiivistelmän kirjoittaminen

- *Onko tutkielman pakko olla kokeellinen tutkielma?*
  - Tutkielma voi olla myös täysin kirjallisuuteen perustuva.
  - Suositus kuitenkin on, että luonnontieteellinen tutkimus olisi kokeellinen tutkimus.
- *Mitä pitää tutkielman tiivistelmässä olla?*
  - Tavoitteet
  - Tutkimuksen laajuus
  - Tutkimusmenetelmä(t)
- *Miksi tavoitteiden kirjaaminen on tutkielman tekemisessä ensiarvoisen tärkeää?*
  - Tavoitteet ohjaavat Sinua jouheasti aihealueen kirjallisuuteen, johon Sinun on syytä tutustua.
  - Tavoitteet auttavat Sinua hahmottamaan menetelmää, jota tutkielmasi tulet käyttämään.
  - Tavoitteet selventävät tutkimuksessa tarvittavaa aineistoa ja siten samalla aineistoon keräämiseen tarvittavia välineitä.
  - Tavoitteet helpottavat Sinua myös kerätyn aineiston analyysissä.
  - Tavoitteet ohjaavat Sinua lopulta myös tutkimuksesi johtopäätösten tekemisessä.

#### Vaihe 3 Tutkielmatyön varsinainen aloittaminen

- *Miksi on pidettävä jatkuvaa yhteyttä ohjaavaan opettajaan suunnitelman hyväksyttämisen jälkeenkin?*

- Ohjaava opettaja voi havaita virheitä koejärjestelyissä ennen kokeellisen osuuden aloittamista.
- Ohjaava opettaja voi mahdollisesti antaa lisäideoita koejärjestelyihin, joita opiskelija itse ensikertalaisena ei ehkä tule ajatelleeksi.

#### Vaihe 4 Tutkielman ensimmäisen version kirjoittaminen

- *Miten ja mitä kirjoitetaan?*
  - Suositus on kirjoittaa joka toiselle riville ja jättää selvät marginaalit ylös, alas ja sivuille.
  - Kirjoitetaan tutkimuksen runko, jossa tulisi noudattaa seuraavaa järjestystä: Johdanto, Tutkimusongelma, Tutkimus, Analyysi, Johtopäätökset, Yhteenveto.
- *Miksi tämän vaiheen tarkistaminen ohjaavalle opettajalle on välttämätöntä?*
  - Ohjaava opettaja löytää virheitä, joita itse ei jo työhösi sokeutuneena huomaa.
  - Voit helposti ilman ohjausta tuhjata runsaasti aikaa joutuessasi kirjoittamaan uusiksi liian paljon myöhemmässä vaiheessa.

#### Vaihe 5 Tutkielman puhtaaksi kirjoittaminen

- *Miksi tapaamisaikataulua ohjaajan kanssa ei voi unohtaa tässäkin vaiheessa?*
  - Ohjaavan opettajan kanssa sovittu aikataulu tapaamisista jäntevöittää tekemiäsi. Tulee tehdyksi, koska niin on sovittu!

#### Vaihe 6 Tutkielman tekemisestä tiedottaminen

- *Mitä se tarkoittaa?*
  - Tutkimuksen julkaiseminen esimerkiksi alan aikakauslehdessä.
- *Onko tämä vaihe pakollista?*
  - Ei, ellet itse sitä halua.

## 6 Tutkimuksen toteutus käytännössä

### 6.1 Yleistä luonnontieteellisestä tutkimuksesta

**L**uonnontieteellinen (fysiikka, kemia, biologia, luonnonmaantieto) tieto syntyy tutkimalla luontoa ja sen ilmiöitä systemaattisesti joko itse luonnossa, kokeellisesti laboratoriossa tai teoreettisesti esimerkiksi tietokone-mallinnuksilla. Teknologian ja tarkempien tutkimusmenetelmien kehittymisen myötä saadaan joka päivä lisää uutta tietoa luonnosta ja ihmisestä itsestään.

Luonnontieteen tutkimusta ohjaa tiedeyhteisössä vallitsevat säännöt. Tutkimuksissa pyritään järjestelmällisesti tutkimusongelman(ien) ratkaisemiseen ja tieteellisen vastauksen saamiseen.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa todenmukaista, tieteellisesti perusteltavissa olevaa ja hyödyllistä informaatiota. Tarkkuus, tutkimuksen kontrollointi, tutkimuksen toistettavuus sekä pyrkimys yleistettävään tietoon kuuluvat tieteellisen tutkimuksen prosessiin. Tutkimuksen tuottaman tiedon tulee olla kaikkien saatavilla ja tiedeyhteisön arvioitavissa. Tieteelliselle tutkimukselle on tyypillistä myös vahva vuorovaikutus tiedeyhteisön kanssa.

Yleensä tutkijat työskentelevät tutkimusryhmissä, joissa tutkimusongelmia ratkaistaan yhdessä. Jokaisella tutkijalla on oma tutkimusaiheensa, osana suuremmasta kokonaisuudesta. Tutkimuslaitoksissa, yliopistoissa ja korkeakouluissa on lukuisia tutkimusryhmiä, jotka laitoksen sisällä tekevät yhteistyötä. Jokaisella ryhmällä on vetäjä, joka etsii ideoita, suuntaa tutkimusta ja hankkii rahoitusta. Tutkijoiden lisäksi ryhmään voi kuulua laborantteja, teknikoita ja assistentteja. Yliopisto- ja korkeakoulututkimuksissa ryhmään kuuluu myös opinnäytetöitä tekeviä opiskelijoita.

Luonnontieteelliset tutkimukset voidaan luokitella perustutkimukseen (fysiikka, kemia, biologia, luonnonmaantiede), soveltavaan tutkimukseen (lääketiede, tekniikka, maa- ja metsätaloustieteet) sekä kehittävään tutkimukseen. Kehittäväksi tutkimukseksi kutsutaan usein teollisuudessa tehtävää tutkimusta, jossa tavoitteena on kehittää uusi tuote, menetelmä, prosessi tai laite. Kuitenkin raja perustutkimuksen, soveltavan tutkimuksen ja kehittämistutkimuksen välillä on usein hyvin keinotekoinen.

Mikäli opiskelija tekee tutkimuksensa itsenäisesti, tulee aiheen olla niin kiehtova, että oppilaan kiinnostus aiheeseen kantaa ongelmakohtien yli. Opettaja ei tällöin voi tartuttaa omaa innostuneisuuttaan opiskelijaan. Itsenäisen työskentelyn etuna on, että opiskelija voi työskennellä myös kesällä, joka on esimerkiksi biologisen tutkimuksen kannalta tarkoituksenmukaisin aika ja joka normaalisti ei ole koulun työskentelyaikaa. Myös havainnointi- tai näytteenottoaika voidaan venyttää esim. useampivuotiseksi. Esimerkiksi biologiassa lintuja harrastavan opiskelijan talvilintututkimus.

Yksi vaihtoehto on yhdistellä edellisiä malleja esimerkiksi siten, että näytteenotto ja -käsittely järjestetään keskitetysti tietyllä kurssilla ja opiskelijat

kirjoittavat tutkielmat itsenäisesti opettajan ohjauksessa. Esimerkiksi Oларin lukiossa järjestetään vuosittain valtameriekologian kurssi. Tällä kurssilla tehdään koejärjestelyitä ja kerätään näytteitä. Kotiin tultuaan opiskelijat kirjoittavat tutkimusraportit tutkimuksistaan.

Biologian tutkimuksista ekologiset tutkimukset sopivat kouluun hyvin. Koulun läheltä löytyy mahdollisesti luonnonympäristöä, jota voidaan tarkkailla tai minne voidaan perustaa näytealat. Myös rakennetussa ympäristössä voidaan tutkia miten eliöt sopeutuvat ihmisen rinnalle. Mikäli tutkimusalue sijaitsee lähellä koulua, voidaan samalla alueella tehdä seuranta-tutkimusta.

Elävillä organismeilla tehtäviin koejärjestelyihin liittyy koulun tasolla paljon ongelmia, elleivät kokeet ole hyvin pienimuotoisia. Kasveilla tehdyt kokeet ovat ongelmattomampia. Eläinkokeet tapahtuivatpa ne selkärangattomilla tai selkärangkaisilla vaativat erittäin tarkkaa harkintaa. Selkärangkaisilla tehtävät kokeet vaativat lain mukaan lääninhallituksen luvan. Myös bakteereilla tehtäviin kokeisiin tarvitaan lupa (geenitekniikkalautakunta) mikäli kokeissa muutetaan bakteerien perintöainesta.

## 6.2 Luonnontieteellisen tutkimuksen vaiheet

**L**uonnontieteellistä tutkimusta tehdään eri luonnontieteissä eri menetelmillä, mutta pääpiirteittäin luonnontieteelliseen tutkimukseen kuuluvat seuraavat vaiheet:

- 1) Havainnon tekeminen (esim. luonnosta)
- 2) Tutkimushypoteesin eli oletuksen muodostaminen
- 3) Kokeellisen/kenttätyöskentelyn suunnittelu ja hypoteesin testaaminen käytännössä (koejärjestely tai havainnot)
- 4) Tulosten käsittely
- 5) Johtopäätösten tekeminen
- 6) Tutkimuksen arviointi
- 7) Tutkimusraportin kirjoittaminen ja esittäminen julkisella foorumilla.

Joko havainnon tekeminen tai tutkimusongelman muodostaminen Luonnontieteellinen tutkimus lähtee usein havainnosta. Ihminen on ympäristöönsä tarkkailemalla havainnut jotakin, mitä hän haluaa lähemmin tutkia. Joskus havainto on peräisin suoraan luonnosta, tutkijoilla ehkä useammin kuitenkin edellisistä tutkimuksista. Se minkälaisia mietteitä havainto herättää riippuu osittain tutkijan ennakkotiedoista ja yllättävän suurelta osin sen hetkisestä yleisestä tutkimuksen tilasta. Yhtä hyvin tutkimus voi lähteä liikkeelle havaitusta ongelmasta, johon etsitään käytännön ratkaisua.

### Tutkimushypoteesin muodostaminen

Sitä miten havainto selitetään tai ongelma ajatellaan ratkaistavaksi kutsutaan olettamukseksi eli hypoteesiksi. Se on siis tutkijan päätelmä siitä miksi havaittu asia on niin kuin on. Kaikki ihmiset tekevät päivittäin havaintoja, joista muovaavat olettamuksia. Tämä tapahtuu ihan tiedostamatta, eikä useinkaan ole kovin juhlallista. Tutkijalla on ennakkotietoa kirjallisuudesta ja omista aiemmista tutkimuksistaan, joten tutkimushypoteesi on valistunut arvaus ja usein osoittautuu tutkimuksen jälkeen oikeaksi.

Jotkut havainnot, ongelmat tai olettamukset ovat niin olennaisia, että herää tarve tutkia, miten asia todella on. Tätä varten edetään seuraavasti:

- 1) Ensiksi selvitetään kirjallisuudesta, mitä ilmiöstä tiedetään ennestään.  
Joskus siitä tiedetään hyvinkin paljon, joskus ei käytännössä mitään. Biologisessa tutkimuksessa voidaan vielä verrata läheisiin lajeihin tai lähiekosysteemeihin.
- 2) Olettamuksesta riippuen sitä voidaan lähteä tutkimaan joko
  - a) kokeellisesti tai
  - b) vakioidusti havainnoimalla.

Tutkimusprosessiin kuuluu dynaamisuus. Tutkimushypoteeseja tarkistetaan saatujen tulosten pohjalta ja testataan uusissa olosuhteissa. Varsinkin kokeellisessa tutkimuksessa on tyypillistä, että tutkimus ei aina onnistu toivotulla tavalla ja tutkija saa ennalta odottamattomia tuloksia. Nämä niin kutsutut epäonnistuneet kokeet vievät kuitenkin usein tutkimusta suurin harppauksin eteenpäin. Kirjallisuudessa on lukuisia esimerkkejä tutkimuksista, joissa näin on käynyt ja joka on johtanut jopa merkittäviin keksintöihin.

### Kokeellisen/kenttätyön suunnittelu ja hypoteesin testaaminen käytännössä

Tutkimusvälineiden testaaminen, tutkimusreagenssien valmistaminen ja tutkimuksen koko teknisen toteutuksen suunnittelu voi viedä yllättävän paljon aikaa. Joskus jopa koko menetelmä on ensin kehitettävä tutkimukseen sopivaksi ennen käyttöä. Kokeellisessa työskentelyssä huomioidaan myös, että tutkimus noudattaa annettuja turvallisuusmääräyksiä ja mikäli tutkimuksessa käytetään koe-eläimiä, että tarvittavat luvat on kunnossa. Laboratoriotyöskentelyyn on laadittu nk. laatustandardit, jotka takaavat, että laboratoriotyöskentely on tehty yleisesti hyväksytyllä tavalla.

### *Koejärjestely*

Kokeen tarkoituksena on joko tukea tai kumota hypoteesi. Tästä syystä hypoteesista tulee muovata tutkimushypoteesi. Kokeessa tarkasteltavaa ilmiötä seurataan tarkoin säädellyissä olosuhteissa. Suurin osa ilmiöistä ei ole yksinkertaisen kausaalisia (tekijä a vaikuttaa ilmiöön b, joka vaikuttaa ilmiöön c). Useimmiten jo tekijään a vaikuttaa 10 muuta tekijää ja a:n lisäksi b:hen vaikuttaa myös muita tekijöitä jne. Koejärjestelyn tärkeä ominaisuus onkin tutkia vain yhtä tai muutamaa muuttujaa kerrallaan. Vaikka tämä ei tunnu hankalalta, on tämä usein vaikein vaihe kokeen suunnittelussa. Jos tämä vaihe epäonnistuu, ei kokeella ole merkitystä alkuperäisen olettamuksen tutkimisessa.

Kokeen toistettavuus on keskeistä. Useimmiten toistot tehdään rinnakkaiskokeina. Tällöin voidaan ympäristö vakioida helpommin. Esimerkiksi bakteereja tutkittaessa jopa 100 rinnakkaisen maljan tekeminen ei ole harvinaista. Koejärjestely tulee myös kuvata kirjallisesti hyvin tarkasti, sillä myös muiden pitää pystyä toistamaan koe.

Vertailuryhmä tai kontrolli on se eliöjoukko, joka käy kokeen läpi tarkasti samoin kuin kokeessa olevat eliöt kuitenkin ilman kokeiltavaa esimerkiksi jonkin aineen vaikutusta. Tämänkään suunnittelu ei ole aina ihan helppoa. Joitakin vuosia sitten värysmatoihin kuuluvilla lattanoilla tehtiin tutkimus-



ta siitä, voiko tietoa siirtää yksilöstä toiseen. Kokeessa opettamattomille lattanoiden syötettiin opettettujen lattanoiden päitä. Vertailuryhmälle syötettiin lattanoiden normaalia kasvisravintoa. Tarkoituksena oli tutkia oppivatko oppineita syöneet lattanat nopeammin niille annetun tehtävän kuin normaalia ruokavaliota noudattaneet. Kokeen tulos oli sensaatiomainen: oppineita syöneet lattanat oppivat merkittävästi nopeammin kuin vertailuryhmä!

Kun koe korjattiin, siten että kummatkin ryhmät söivät proteiinipitoista lattanaravintoa, ei havaittavaa eroa oppimiskyvyssä enää ollutkaan. Kokeesta saatiin tulos: ravinnon koostumus vaikuttaa lattanoiden oppimiskykyyn. Tämä ei kuitenkaan ollut alkuperäisen tutkimuksen tarkoitus.

#### *Havainnointitutkimus*

Havainnointitutkimuksen järjestämiseen liittyy samantyyppisiä hankaluuksia kuin kokeenkin. Havainnoinnissa tarkkaillaan tiettyä yksilöityä asiaa. Havaintoja pitää kertyä paljon rinnakkaisia tai ehkä eri vuodenojoilta tai jopa eri vuosilta. Kontrolliksi valitaan usein tilanne, jolloin tarkkailu alkoi. Havainnointiin voi liittyä myös näytteenottoa. Tällöin näytteenotto suunnitellaan yhtä tarkasti kuin koejärjestely. Huolimattomasti toteutettu näytteenotto ei anna vastauksia mihinkään kysymyksiin. Havainnoinnissa voidaan kiinnittää huomiota joko laatuun (kvalitatiivinen) tai määrään (kvantitatiivinen) tai molempiin. Esimerkiksi Itämeren eläinplanktonia tutkittaessa voidaan katsoa mitä lajeja missäkin päin Itämeren on tai määrittää jonkin tietyn paikan vuotuista eläinplanktonin suhteellisuutta. Tällöin ensimmäinen tutkimus olisi luonteeltaan kvalitatiivinen ja jälkimmäinen kvantitatiivinen. Kvantitatiivinen tutkimus ei anna aina absoluuttisia määriä vaan voi kertoa runsauden suhteellisuudesta. Yleisesti käytetään kolme- tai viisiportaista asteikkoa. Esim. viisiportaisesta asteikosta:

- lajia on erittäin paljon \*\*\*\*\*
- paljon\*\*\*\*
- jonkin verran \*\*\*
- vähän \*\*
- ei juuri lainkaan\*.

Jos tutkimuksen tekemisessä halutaan korostaa modernia teknologiaa ts. tietotekniikan hyödyntämistä kokeellisen tiedon keräämisessä ja analysoinnissa, kuten nykyisissä tutkimuslaboratoriossa, niin voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia mittausautomaatiomenetelmiä, joita on kehitetty erityisesti luonnontieteiden opetukseen (mm. Aksela ym. 2000). Tietoa voidaan silloin kerätä luonnossa tai koululuokassa.

#### Tulosten käsittely

Tulokset kerätään ja niitä käsitellään tietokoneen avulla esim. tilastollisesti. Taulukkolaskentaohjelmien avulla tulokset esitetään graafisesti erilaisina diagrammeina: pylväs-, viiva-, alue- tai sektoridiagrammi.

Tuloksia verrataan olettamukseen. Ne voivat joko tukea sitä tai osoittaa sen vääräksi. Normaalisti mikäli tulos osoittautuu vääräksi tehdään uusi tutkimushypoteesi, joka tutkitaan. Koulussa tehtävässä tutkimuksessa tällaisen tilanteen pitää olla yhtä hyvä kuin senkin, että tulokset tukevat hypoteesia. Tuloksia ei missään tapauksessa saa muuttaa vastaamaan hypoteesia.



### Johtopäätösten tekeminen ja tulosten arviointi

Tuloksista tehdään johtopäätöksiä. Tulosten perusteella voi pohtia sitä, mitä koe tai havaintosarja todella osoittaa ja mitä ei. Tässä vaiheessa oma tutkimus tuntuu usein mitättömältä: tällainen vaiva yhden pienen asian selville saamiseksi. Sellaista tieteen tekeminen on kuitenkin usein. Mikään tänään tiedetty asia ei ole ollut itsestään selvyys silloin, kun asia keksittiin. Saattaapa olla, että vaikka jokin asia tänään selitetään jollain tavalla selitys tarkentuu tai jopa osoittautuu vääräksi tulevaisuudessa. Se pieni asia joka tänään löydetään saattaa avata ovia tutkimaan maailmoja, se herättää uusia kysymyksiä, joista muodostetaan uusi hypoteesi, jne.

Mikäli tulokset osoittivat hypoteesin vääräksi pohditaan, miksi ja mitä uusia kysymyksiä tulokset herättävät. Mikäli koejärjestely epäonnistuu on tutkimus edelleen arvokas opetuksellisessa mielessä, sillä silloin pohditaan, mistä epäonnistuminen johtui ja miksi. Myös sellaiset tutkimukset, joissa koejärjestely on ponnisteluista huolimatta epäonnistunut, hyväksytään ja eikä koulututkielmissa tämä estä korkeimman arvosanan saamista; tällöin kuitenkin vaaditaan erittäin ansiokasta pohdintaa.

### Tutkimusraportin kirjoittaminen ja esittäminen

Tutkimusraportti kirjoitetaan tutkimuksen aikana tutkimuspäiväkirjaan kerättyjen tarkkojen muistiinpanojen ja tulosten pohjalta. Kirjoittamisessa pyritään täsmälliseen, ymmärrettävään kielen käyttöön sekä loogiseen esittämisenjärjestykseen. Yleensä uudet tutkimustulokset julkaistaan tutkimusjulkaisuna jossain aihealueen kansainvälisessä julkaisusarjoissa tai esitetään tiedeyhteisön tapaamisissa nk. konferensseissa tai symposioissa.

## 6.3 Tutkimuspäiväkirjan ja muistiinpanojen tekeminen

**T**utkimuksen keskeisiä piirteistä ovat toistettavuus ja raportointi. Tutkijan tai jonkun muun samaan aihepiiriin perehtyneen tutkijan on kyettävä toistamaan tutkimuksen koejärjestely ja tietyin edellytyksin saatava samoja tuloksia. Tämä ei tietenkään onnistu, ellei tutkijalla ole kunnollisia muistiinpanoja tutkimuksensa varrelta. Esimerkiksi laatustandardoitujen laboratoriodien laborantit pitävät erittäin tarkkaa päiväkirjaa valmistamistaan liuoksista ja suorittamistaan mittauksista. Lopullista tutkielmaa on lähes mahdotonta kirjoittaa ilman kattavia muistiinpanoja. Toisaalta muistiinpanot palvelevat opettajaa, joka työtä arvioidessaan arvioi myös itse tutkimusprosessia sekä työn laajuutta eli sitä miten paljon aikaa työn tekemiseen on mennyt. Tästä syystä tutkielma palautetaan arvosteltavaksi tutkimuspäiväkirjan kera.

Tutkimuspäiväkirja on nimensä mukaisesti päiväkirjamainen. Päiväkirja etenee kronologisesti eli aikajärjestyksessä. Muistiinpanoja tehdään aina, kun tutkimusta millään tavoin edistetään. Jokaiseen muistiinpanoon liittyy päiväys ja kellonaika. Päiväkirjalla opiskelija osoittaa kuinka paljon työn tekemiseen on kulunut aikaa sekä sen, että opiskelija itse on tehnyt kyseessä olevan tutkimuksen. Tutkimuspäiväkirjasta löytyy kaikki olennainen lopullista tutkielmaa kirjoitettaessa.

Päiväkirjaksi riittää tavallinen vihko ja lyijykynä. Lyijykynä on parempi kuin tussi tai mustekynä, koska lyijykynän jälki kestää vettä ja muitakin nesteitä yllättävän hyvin. Usein sattuu, että kokeita tehdessä jotain saattaa kaatua päiväkirjan päälle ja silloinkin on hyvä, mikäli muistiinpanot on edelleen luettavissa.

Koejärjestelyt ja tulokset sekä kaikki havainnot kirjoitetaan ylös tunnontarkasti. Varsinkin kaikki käytännön työskentely kuvataan niin tarkasti kuin mahdollista. Koejärjestelystä voi olla kuvia, johon voi liittyä myös kirjoitettua selvitystä. Kaikki käytetyt aineet, ainemäärät, välineet ja laitteet kirjataan. Myös epäonnistumiset tulee kirjata, koska ne saattavat auttaa tulosten tulkinnessa.

Opettajan tai muun ohjaajan antamat vihjeet kannattaa kirjata ohjeita saadessa. Kaikki yhteydenotot ja yhteystiedot pannan muistiin mahdollista myöhempää avun tarvetta varten. Kaikki tärkeimmät Internetsivujen osoitteet kirjataan. Joitakin Internetsivuja päivitetään ahkerasti ja uudelleen sivulle mennessäsi voit havaita sen kadonneen. Kirjallisuus merkitään muistiin paitsi vihkoon myös tietokoneen kortisto-ohjelmaan, josta saa lopulta valmiin kirjallisuusluettelon. Kaikki tutkimusta koskevat ajatukset, uudet kysymykset ja mielikuvat kannattaa kirjata vihkoon.

Tutkimuspäiväkirja on henkilökohtainen ja sinne voi kirjoittaa myös tuntemuksista, jota työn tekeminen kunakin päivänä herätti, epäilyistä, toiveista jne. Myös vaikeudet ja hankaluudet kannattaa kirjoittaa muistiin pohdintaa varten. Yllättävää on, että lopullista tekstiä kirjoittaessa usein jopa epäolennaisista muistiinpanoista on paljon hyötyä. Ne auttavat palauttamaan mieleen sellaisetkin asiat, jotka muuten olisi ehtinyt unohtaa.

## 7 Tutkimusraportit kirjoittaminen

### 7.1 Kirjoittaminen ja kieli

Tieteellisessä työskentelyssä tutkijat kirjoittavat paljon. Tutkimusta tukevia tai valvovia tahoja varten laaditaan tutkimussuunnitelma ennen tutkimusta ja tutkimusraportti tutkimuksen jälkeen. Työskentelyn tuloksista tulee kertoa myös muulle tieteelliselle yhteisölle, jotta saman alan tutkijat voisivat hyötyä toistensa tutkimuksista ja jotta tutkija saisi kritiikkiä omasta tutkimuksestaan. Tätä varten on tutkijoiden kokouksia (symposiumia), joissa saman alan tutkijat esittelevät esitelmin tai seinälehtisin (posterit) tutkimuksiaan. Tämän lisäksi tai vaihtoehtona tutkimuksia esitellään tieteellisissä julkaisusarjoissa. Ne on rajattu tiukasti tutkimusalan mukaan. Sarjoja on tuhansia ja niillä on paremmuusjärjestys. Parhailla on suurin lukijakunta. Tutkija tietysti yrittää saada julkaisunsa arvostetuimpaan julkaisusarjaan.

Tieteelliselle kirjoittamiselle on tyypillistä selkeys ja loogisuus. Kieli on tarkkaa ja nasevaa yleiskieltä (slangia ei käytetä). Keskeistä tieteelliselle kirjoittamiselle on tiivistäminen, tärkeintä on ytimekkyys ei pituus.

Mitä taitavammin osaa käyttää erilaisia ohjelmia, esimerkiksi kortisto-ohjelmia ja tekstinkäsittelyohjelmia, sitä helpommalla kirjoitusvaiheesta selviää.

Kirjoitusohjeet:

- valitse jokin yleisesti käytössä oleva tekstinkäsittelyohjelma
- käytä marginaaleja (ylä-, ala- ja sivumarginaalit)
- valitse jokin tavallinen selkeä tekstityyppi ja siihen sopivaa riviväli
- numeroi sivut ja kappaleet
- tarkista lopullinen ulkoasu
- ota varmuuskopiot.

### 7.2 Kirjallisuusviitteet tekstissä

Viitteenä tekstissä käytetään kirjoittajan nimeä ja julkaisuvuotta, esimerkiksi: "Kun kymmeniä luustomittoja analysoitiin tilastotieteellisin monimuuttujamenetelmin, havaittiin helsinkiläisten varpusten olevan sukupuolesta riippumatta pienempiä kuin rovaniemeläisten (Hanski 1984) tai "Hanski (1984) on todennut, että...". Mikäli kirjoittajia on kaksi, merkitään molemmat (Virkkala & Liehu 1990), mikäli kolme tai useampia merkintänä käytetään: Niemelä ym. (1992). Jos viitataan useampaan saman kirjoittajan samana vuonna julkaisemaan artikkeliin, ne erotetaan toisistaan pienellä kirjaimella (Hanski 1984a ja 1984b). Mikäli viitteitä on useampia kirjoitetaan ne julkaisujärjestykseen ja erotetaan toisistaan pilkulla.

Yhteen lauseeseen viitattaessa viite sijoitetaan lauseen sisään ennen pistettä. Mikäli koko kappaleen idea on lainattu, viite laitetaan kappaleen loppuun viimeisen lauseen pisteen jälkeen.

Etsi aina alkuperäisjulkaisut käsiisi ja viittaa niihin. Toissijaisia viittauksia voi käyttää ainoastaan mikäli alkuperäisen julkaisun saaminen on kohtuuttoman vaikeaa.

### 7.3 Tutkimusraportin muoto

Julkaisu, raportti tai tutkielma seuraa aina tiettyä muotoa. Se itse asiassa noudattaa tutkimusprosessin kulkua. Kaava on hyvä apuväline koulussa toteutettavissa isommissa ja pienemmissä tutkimuksissa.

- Otsikko (title)
- tiivistelmä (abstract)
- sisällysluettelo (table of content)
- johdanto (introduction)
- aineisto ja menetelmät (material and methods)
- tulokset (results)
- johtopäätökset tai tulosten tarkastelu (discussion)
- loppulause (conclusion(s))
- kiitokset (acknowledgement)
- kirjallisuusluettelo (literature cited or reference).

#### *Otsikko*

Tutkimuksen kuluessa käytetään työotsikkoa. Lopullinen otsikko muotoillaan siten, että se on mahdollisimman lyhyt ja naseva, mutta kertoo tarkasti mistä tutkimuksessa on ollut kyse.

#### *Tiivistelmä*

Tiivistelmä laaditaan siksi, että toiset tutkijat voisivat sen lukemalla päätellä kiinnostaako koko artikkelin tai tutkielman lukeminen heitä. Se on ikään kuin näyteikkuna tutkielmaan, johon pitäisi kristallisoida kaikki oleellinen kysymyksen asetelusta, aineistosta, menetelmistä, tuloksista ja tulosten tarkastelun keskeisistä oivalluksista ja päätelmistä. Tästä syystä se kannattaa kirjoittaa viimeiseksi.

Tiivistelmä on puolen tai yhden konekirjoitusliuskan mittainen (enintään 250 sanaa). Tiivistelmässä ei ole kirjallisuusviitteitä. Se ei myöskään sisällä kaavioita eikä taulukoita. Tiivistelmässä esitetään ainoastaan artikkelissa olevia asioita. Tiivistelmä voidaan tutkielman kielestä poiketen laatia englannin kielellä. Näin on yleensä tapana tieteellisissä artikkeleissa.

#### *Sisällysluettelo*

Sisällysluetteloä käytetään vain isommissa tutkielmissa. Siitä käy ilmi yhdellä silmäyksellä tutkielman rakenne. Numerointi ja alanimerointi sekä sivunumerointi noudattaa tutkielmassa olevaa. Useimmissa tekstinkäsittelyohjelmissa on hyviä apuvälineitä sisällysluettelon laadintaan.

Sisällysluetteloä voi käyttää myös kirjoittamisen raamina, siten, että aloittaa tutkielman sisällysluettelon kirjoittamisesta, jonka otsikoinnin alle alkaa kirjoittaa. Tällöin tutkielma ei laajene sellaiseen suuntaan, jota alussa ei ole halunnut. Tällöin se on myös väline, jonka avulla voi itse seurata tutkielman edistymistä. Sisällysluettelon vastaavuus on hyvä tarkastaa viimeiseksi.

### *Johdanto*

Hyvä johdanto antaa lukijalle tarpeelliset taustatiedot tehdyn tutkimuksen ymmärtämiseksi. Johdanto esittelee tutkimusongelman selkeästi sekä liittää tutkimuksen muuhun saman alan tutkimukseen. Usein käytännössä johdanto on lyhyt referaatti tutkimusta tukeviin aikaisempiin julkaisuihin. Johdannossa esitellään myös tutkimusmenetelmä lyhyesti; myös tuloksista ja johtopäätöksistä keskeisimmät voidaan esitellä johdannossa. Helpottavia kysymyksiä johdannon kirjoittamiseksi ovat:

- 1) Miksi tämä tutkimus tehtiin?
- 2) Mitä tästä asiasta tiedetään ennestään?
- 3) Miten tutkimus tehtiin?
- 4) Mitä saatiin selville?

### *Aineisto ja menetelmät*

Aineisto ja menetelmät -osiossa käydään läpi tutkimuksen käytännön osa riittävän tarkasti, koska tulosten luotettavuuden arviointi riippuu käytettyjen menetelmien luotettavuudesta. Riittävän tarkasti tarkoittaa sitä, että toistamalla tutkielmassa annettujen ohjeiden mukaan joku toinen voi tehdä saman havainnointisarjan tai kokeen. Mikäli on käytetty jotakin vakiintunutta menetelmää siihen voi viitata vain kirjallisuusviitteellä. Lukiolaisten tekemissä tutkimuksissa olisi kuitenkin tarkoituksenmukaista, että viitteen lisäksi opiskelija kuvaisi käyttämänsä tutkimusmenetelmän omassa tekstissään. Menetelmän kuvaaminen on tärkeää esim. havainnointitutkimuksissa, joissa havainnointi voidaan toistaa samalla koulun läheisellä tutkimusalalla esimerkiksi 1, 2, 5, tai 10 vuoden päästä ja verrata tuloksia aikaisempiin.

Tilastolliset menetelmät, joita tutkimuksessa on käytetty, esitellään myös tässä osiossa. Mikäli kerättyä aineistoa tai käytettyjä menetelmiä on jostain syystä karsittu on siitä mainittava tässä osiossa.

Tutkimuksen aikana tehdyt muistiinpanot auttavat tai käytännössä mahdollistavat tämän osion kirjoittamisen. Helpottavia kysymyksiä:

- 1) Mitä tehtiin?
- 2) Miksi tehtiin?
- 3) Missä tehtiin?
- 4) Mitä apuvälineitä käytettiin?

### *Tulokset*

Tulokset-osiossa kerrotaan yksinkertaisesti mitä tuloksia kokeista tai havainnoimisesta saatiin. Tuloksia voidaan esitellä taulukkoina ja kaavioina (diagrammeina), joita tekstissä lyhyesti selitetään ja joihin silloin viitataan. Tuloksia voidaan käsitellä myös tilastollisesti, tällöin tulee tietää, että käytettävä testi sopii kyseessä olevaan aineistoon.

Kaavioiden tulee olla selkeitä ja helposti avautuvia. Taulukoiden suunnittelussa tulee olla huolellinen, jota ne asiat, joita haluaa painottaa, nousisivat esiin.

### *Johtopäätökset tai tulosten tarkastelu*

Luonnontieteellinen tutkimus antaa aina oikeat tulokset. Se miten tuloksia tulkitaan on ratkaisevaa. Tulosten tulkintaan vaikuttaakin jo monta seikkaa. Entinen olemassa oleva ja tutkijalla oleva tieto.

Johtopäätökset-osio tarkastelee tuloksia suhteessa tutkimushypoteesiin ja aikaisempaan tietoon. Tässä osiossa paljastuu se, miten paljon opiskelija on jaksanut pohtia tutkimusongelmaansa. Johtopäätökset-osiossa esitetään tulosten perusteella oivalletut periaatteet, asiayhteydet ja yleistyksiset. Suurimpana vaarana tuloksia tarkastellessa on toistaa tulokset-osiota, kun tuloksia piti tarkastella.

Tässä osiossa tutkielma voi laajentua jopa teoreettisen pohdinnan suuntaan. Koulututkielmissa ajatus saa lentää. Keskeistä on, että opiskelija ajattelee, eikä niinkään se, ovatko kaikki ajatukset vanhojen teorioiden kannalta tarkasteltaessa oikeassa. Voihan olla, että opiskelija ilman tiedon taakkaa, on vapaampi ajattelemaan laajemmin. Tätä vapautta ei tulisi rajoittaa. Tärkeää on, että opiskelija perustelee ajatuksensa.

#### *Loppulause*

Loppulausetta tutkielmissa käytetään mikäli johtopäätökset-osio on ollut pitkä ja polveileva. Se summaa johtopäätökset ja luotaa tutkimuksesta tulevaisuudessa seuraavaa tutkimusta.

#### *Kiitokset*

”Oikeissa” tutkimuksissa kiitetään lyhyesti nimeltä kaikkia niitä, jotka ovat edesauttaneet tutkimuksen valmistumista. Tämä on hyvä tapa opetella jo koulussa.

#### *Kirjallisuusluettelo*

Kirjallisuusluettelosta käy ilmi tutkimukset, jotka liittyvät tähän tutkimukseen. Kirjallisuusluettelon on oltava niin tarkka, että sen perusteella joku muu samasta aiheesta kiinnostunut tutkija löytää tutkimuksessa käytetyn kirjallisuuden. Myös tutkielman tarkastamista hyvä kirjallisuusluettelo helpottaa. Edellä mainituista syistä kirjallisuusluettelo tulee laatia huolellisesti.

Kirjallisuusluettelon pitää sisältää kaikki viitteet, jotka on mainittu tekstissä ja tekstissä viitteet niihin lähteisiin, jotka luettelossa mainitaan. Hyvä tutkielma sisältää oikein tehdyn ja vähintäänkin kymmenkunta viitettä sisältävän kirjallisuusluettelon.

Helppointa kirjallisuusluettelon laadinta on ottamalla mallia jostakin tieteellisesti pätevästä julkaisusta. Vanamo-seuran tieteellisten julkaisujen painatusohjeet vuodelta 1969 (Luonnontutkija 73: 115–120) sisältävät tarkat ohjeet ja suuren määrän erilaisia esimerkkejä (liitteenä).

Kirjallisuusluettelossa kirjallisuus luetteloidaan tekijän sukunimen mukaiseen aakkos- ja aikajärjestykseen. Julkaisut, joissa on useampia tekijöitä, aakkostetaan luetteloon ensimmäisen tekijän mukaan. Kokoomateokset sijoitetaan kirjallisuusluettelossa teoksen nimen mukaiseen kohtaan taikka toimittajan nimen mukaiseen kohtaan. Kukin julkaisu on omalla rivillään sisennettynä tai julkaisujen välissä on tyhjä rivi.

Kirjallisuusluetteloviite julkaisusta tulee seuraavaan muotoon: julkaisun tekijän sukunimi (jos kirjoituksella on useita tekijöitä, erotetaan nimet pilkulla paitsi kaksi viimeistä, jotka erotetaan &-merkillä) pilkku, etunimen alkukirjaimet piste, painovuosi kaksoispiste, julkaisun nimi (kokonaisuudessaan) piste, julkaisusarjan nimi tai nimen lyhennys (tai teoksesta: sivumäärä

piste, kustantajan toimipaikka piste), vuosikerran numero (mikäli alanumero on mainittava, merkitään se edellisen perään sulkeisiin) kaksoispiste, kirjoituksen ensimmäinen sivu viiva viimeinen sivu piste. Kirjallisuusluettelossa ei käytetä kursivointia.

Internetistä haettuun tietoon ei ole vielä vakiintunutta lainauskäytäntöä, osittain koska tieto Internetissä ei ole pysyvää ja osin koska varsinaisessa tieteellisessä työskentelyssä internetistä haettu tieto ei ole lainauskelpoista. Koulututkielmiin sen sijaan internetistä voi tietoa hakea, kunhan siihen suhtautuu kriittisesti. Internetiin voi kuka tahansa syöttää tietoa ja se voi olla jopa täysin väärää. Internet viitteet ilmaistaan www-sivuina, jonka perässä on sen päivän päiväys, milloin tieto on sieltä haettu. Opettajan pitäisi ohjauksen aikana myös tarkastaa Internet viitteet, sitä mukaan kun niitä löytyy. Esimerkiksi [www.osoite.fi](http://www.osoite.fi), 31.7.1999. Kirjallisuusluettelossa Internetosoitteet laitetaan osoitteen mukaiseen aakkosjärjestykseen. Kirjallisuusluettelon laadintaa varten on olemassa useita tietokoneohjelmia (esim. Procite, EndNote, Reference Manager).



## 8 Tutkimuksen arviointi

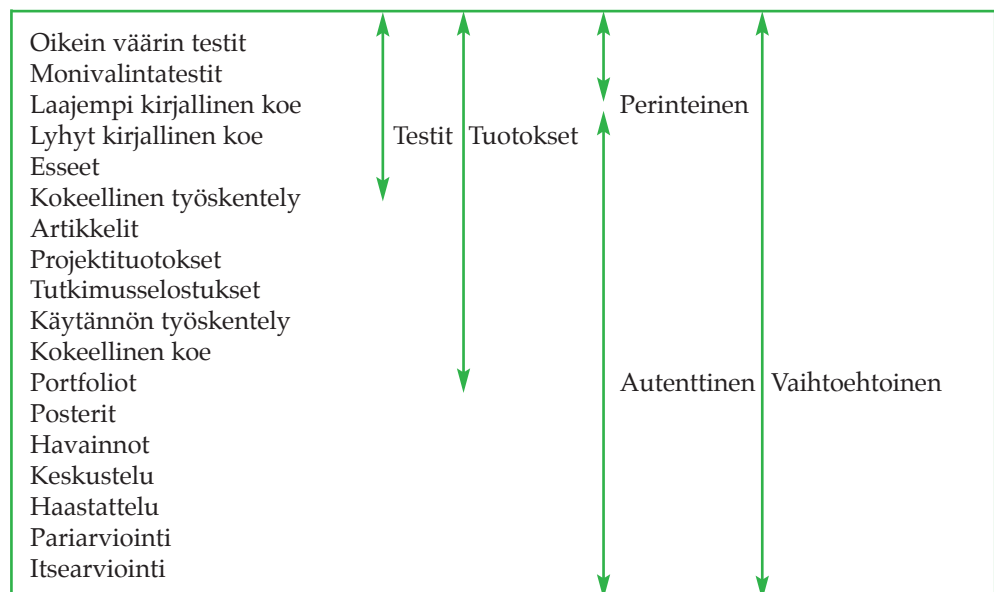
### 8.1 Yleistä

**A**rviointilla on kolme tärkeää tavoitetta:

- 1) oppimiseen ohjaaminen ja sen tukeminen
- 2) edistymisen kontrollointi ja
- 3) opetuksen kehittäminen. Nykyoppimisenäkemyksen mukaan arviointi on yksi keskeisimmistä oppimistilanteisiin ja oppijan yksilöllisiin opiskelumenetelmiin sekä motivaatioon vaikuttavista tekijöistä. Monipuolisella ja kannustavalla arvioinnilla voidaan vaikuttaa mielekkääseen opiskeluun ja opetukseen. Tutkimuksen tekemisen alussa opiskelija voi myös miettiä arviointia ja sen merkitystä. Opettaja ja oppilas voi yhdessä laatia oman arviointimallin tutkimuksen tekemiseen.

Tutkimuksen teolle asetetut tavoitteet luonnollisesti ratkaisevat, minkälaisista arviointia tutkimuksen tekemisessä käytetään. Arvioinnissa voidaan arvioida joko tutkimusprosessia ja sen vaiheita tai tutkimuksen tuotosta. Numeroarvioinnin lisäksi arviointi voi olla myös kvalitatiivista, jossa kuvataan sanallisesti, minkälaisia laadullisia muutoksia tiedoissa, taidoissa ja tuotoksissa prosessin aikana tapahtuu. Arvioinnissa silloin korostetaan erityisesti tiedon ymmärtämistä ja sen monipuolista käsittelyä. Arviointiin voi osallistua oppijan lisäksi opettaja sekä mahdollisesti muut opiskelijatoverit. Tärkeintä on, että tutkimusta arvioidaan monipuolisesti. Tässä oppaassa keskitytään erityisesti prosessin ja tuotoksen arviointiin.

KUVA 2. Erilaisia arvioinnin tyyppejä ja menetelmiä (ks. Handbook of Research On Science Teaching and Learning).



Yhä tärkeämpänä arviointimuotona nähdään oppijan itsearviointi, jolloin opiskelija tulee tietoisemmaksi omasta ajattelustaan, oppimisstrategioistaan

ja oppimisen tuloksista (Tynjälä 1999). Tutkimuksen teossa suositellaan oppijan oman toiminnan ja oppimisen reflektointia kirjallisen itsearvioinnin tai oppimispäiväkirjan muodossa. Oppimispäiväkirjassa voidaan pohtia mm. seuraavia kysymyksiä: miten ymmärrän asiat? mitä ajatuksia ne minussa herättävät? mikä on kullakin työskentelykerralla keskeistä? mitä olen erityisesti oppinut? mitä olen ajatellut asioista aikaisemmin? onko opiskelu muuttanut näitä ajatuksia? jne. Oppimispäiväkirjaan voi liittää myös opettajan antamia erityisiä tehtäviä. Erillisten tehtävien on todettu edistävän asioiden syvällistä ymmärtämistä sekä metakognitiivisia ja reflektiivisiä taitoja.

Tutkimuksen arvosteluperusteiksi näyttää olevan erilaisia käytäntöjä. Mitään valtakunnallisia arvosteluperusteita ei ole vielä olemassa. Oppilaitoksesta riippuen tutkimusten arvosteluissa on käytetty perusteluja, jotka hyvin vastaavat työn tekemiselle asetettuja vaatimuksia. Tutkimusten tekemisen laajentuessa on varmasti toivottavaa myös yhtenäistää käytäntöä töiden arvosteluissa ja näin töiden saattamista yhteismitalliseksi. Tässä törmätään helposti ongelmiin, jos arvosteluperusteet eivät ole riittävän yksityiskohtaisia. Vaikka yksittäisen oppilaitoksen sisällä arvosteluperusteet näyttävät toimivan, eivät ne välttämättä kuitenkaan ole tulkittu juuri samalla tavalla jossakin toisessa oppilaitoksessa. Toisaalta tietty tarkka arvosteluperustelu on myös oppilaan oikeusturvan kannalta hyvin tärkeää.

Tutkimus tulee voida arvioida numeroasteikolla esimerkiksi i–I, 1–6 tai 4–10. Huomattavasti enemmän informaatiota opiskelija saa kuitenkin sanallisesta arviosta. Opiskelijalle annettu sanallinen arvio tulisi saada kirjallisesti siihen muotoon, että hän voisi käyttää saamaansa arviointia myöhemmin hyväkseen, esimerkiksi kesätyöpaikkaa haettaessa tai myöhemmissä opinnoissaan. Tutkimus tulee arvioida prosessina, jolloin lopputuloksen lisäksi arvioidaan myös opiskelijan työskentelyä prosessin kuluessa.

Mikäli tutkielmat tehdään tiedekursseilla, opettaja ohjaa ja seuraa opiskelijoidensa edistymistä. Kurssin lopuksi voidaan tällöin pitää loppuseminaari, jossa kukin opiskelija esittelee lyhyesti (esim. 15 min) oman tutkielmansa ja puolustaa sitä vastaväittäjälle. Suullinen esitys sekä opponointi voivat olla myös yhtenä osana kokonaisarviointia.

## 8.2 Opintosuorituksen laajuuden arviointi

**O**pintosuorituksen laajuus tulisi kytkeä sen tekemiseen käytettyyn aikaan. Toisaalta vakiokokoisien tutkimusten tekeminen tulisi eri kouluissa arvioida yhtä laajaksi opintosuoritukseksi. Tutkimuskeskeisessä oppimisessa tämä on hankalampaa kuin normaalin opintokokonaisuuden laajuuden määrittämisessä, koska yksinkertaiseltakin tuntuvaan tutkimukseen eri opiskelijat käyttävät huomattavan erilaisia määriä aikaa. Opiskelijan käyttämä aika riippuu oleellisesti myös annetun ohjauksen määrästä.

Tämän oppaan tekijöiden ehdotus on että opetussuunnitelmassa määritellään valmiiksi kuinka monta kurssia opiskelija saa (1–2 kurssia) ja jättää opiskelijan huoleksi se, ettei hän käytä tutkimuksensa tekemiseen enempää. Esimerkiksi opiskelija osallistuu viikon mittaiselle näytteenottojaksolle (1 kurssi) ja kirjoittaa raportin, joka palautetaan (1 kurssi). Yhteensä opiskelija saisi 2 kurssia.

Arvostelullinen vaikeus opettajalle syntyy, kun tunnollinen opiskelija käyttää suunniteltua huomattavasti enemmän aikaa tutkimuksensa tekemiseen. Opettajan arvostelu on kuitenkin aina jonkin verran suhteellista.

Opiskelijan käyttämä aika riippuu oleellisesti annetun ohjauksen määrästä. Opettajan antama ohjaus onkin väline, jolla voi valvoa sitä, että tutkimus pysyy suunnitelmissa ja aikataulussa. Raameissa pysymistä kannattaa harjoitella!

### 8.3 Tutkimusraportin arviointi

Tutkimusraportti voidaan arvostella joko yleisten kriteerien tai ainekohtaisten kriteerien perusteella. Kaikki kohdat pisteytetään ja lopuksi pisteiden mukaan tulos luokitellaan yleisesti suomalaisessa koulussa käytetyn 4–10 asteikon avulla:

- 9–10 kiitettävä
- 7–8 hyvä
- 5–6 hyväksytty.

Seuraava pisteytysmalli on lainattu hieman sovellettuna IB-koulujen tutkimuseseen arvosteluohjeista.

---

#### YLEISET KRITTEERIT (0–16)

##### A Tutkimuskysymys

- 0 Tutkimuskysymystä ei ole rajattu tai tutkimuskysymystä ei ole mahdollista käsitellä systemaattisesti tutkimuksen puitteissa.
- 1 Tutkimuskysymys on esitetty, mutta ei riittävän selvästi ja tarkasti. Tutkimuskysymys on liian laaja käsiteltäväksi tutkimuksen puitteissa.
- 2 Tutkimuskysymys on esitetty selvästi ja riittävällä tarkkuudella. Tutkimuskysymyksen tehokas käsitteleminen on mahdollista tutkimuksessa.

##### B Tutkimuskysymyksen tarkasteleminen

- 0 Näkökulma tutkimuskysymykseen on sopimaton.
- 1 Näkökulma tutkimuskysymykseen on sopiva.
- 2 Näkökulma tutkimuskysymykseen on hyvin valittu ja sopii erinomaisesti.

##### C Analyysi/ Tulkinta

- Missä määrin sopivaa materiaalia, lähteitä, mittaustuloksia/ muita todisteita on käytetty tutkimuskysymyksen tarkastelussa? Kun tutkimuskysymykseen ei ole mahdollista käyttää systemaattista tiedonhankintaa, maksimi pistemäärä on yksi.
- 0 Esseessä ei esiinny analyysia.
  - 1 Analyysi on tehty, mutta ei aina oikein.
  - 2 Analyysi on suoritettu hyvin.

##### D Perustelut/ Evaluaatio

- 0 Tutkimuksessa ei ole esitetty minkäänlaisia perusteluja tai hyvin ylimalkaisia perusteluja tutkimuskysymyksen tarkastelussa.
- 1 Tutkimuksessa on esitetty perusteluja tutkimuskysymyksen tarkastelussa, mutta ovat kuitenkin epätäydellisiä.
- 2 Tutkimuksessa on esitetty päteviä perusteluja tutkimuskysymyksen tarkastelussa. Kun perustelujen evaluaatio on ollut mahdollista, se on tehty asianmukaisesti.

- E Johtopäätös
- 0 Tutkimuksessa ei esiinny yritystä johtopäätöksen tekemiseen.
  - 1 Jonkinlaista johtopäätöstä on pystytty esittämään.
  - 2 Johtopäätös on selvästi esitetty ja pohjautuu johdonmukaisiin perusteluihin. (Johtopäätös luo myös uusia ratkaisemattomia kysymyksiä jatkotutkimuksia varten.)
- F Abstrakti
- 0 Abstrakti ylittää 300 sanan rajan tai selvitys seuraavista puuttuu: tutkimuskysymys; tutkimuksen laajuus; johtopäätös/johtopäätökset
  - 1 Abstraktissa esiintyvät kaikki vaadittavat: tutkimuskysymys; tutkimuksen laajuus; johtopäätös/johtopäätökset, mutta niiden esittäminen puutteellista.
  - 2 Abstraktissa esiintyvät kaikki vaadittavat: tutkimuskysymys; tutkimuksen laajuus; johtopäätös/johtopäätökset, ja niiden esittäminen johdonmukaista.
- G Muodollinen esittäminen
- 0 Tutkimus alittaa vähimmäissanarajan tai muodollinen esitys on hyvin heikkotasoisista.
  - 1 Muodollinen esitys on tyydyttävää.
  - 2 Muodollinen esitys on tasoltaan hyvää ja on käytetty hyvää kieltä.
- H Kokonaisuus
- Yleinen arviointi sellaisista ominaisuuksista kuten henkilökohtainen paneutuminen työhön, aloitekyky, ymmärryksen syvyys, kekseliäisyys ja omaperäisyys.
- 0 Essee on suoritettu rutiininomaisesti eikä osoita tekijältään mitään yllämainituista ominaisuuksista.
  - 2 Essee on erinomaisesti suoritettu ja osoittaa tekijältään yllämainittuja ominaisuuksia.

#### AINEKOHTAISET KRITERIT (0–6)

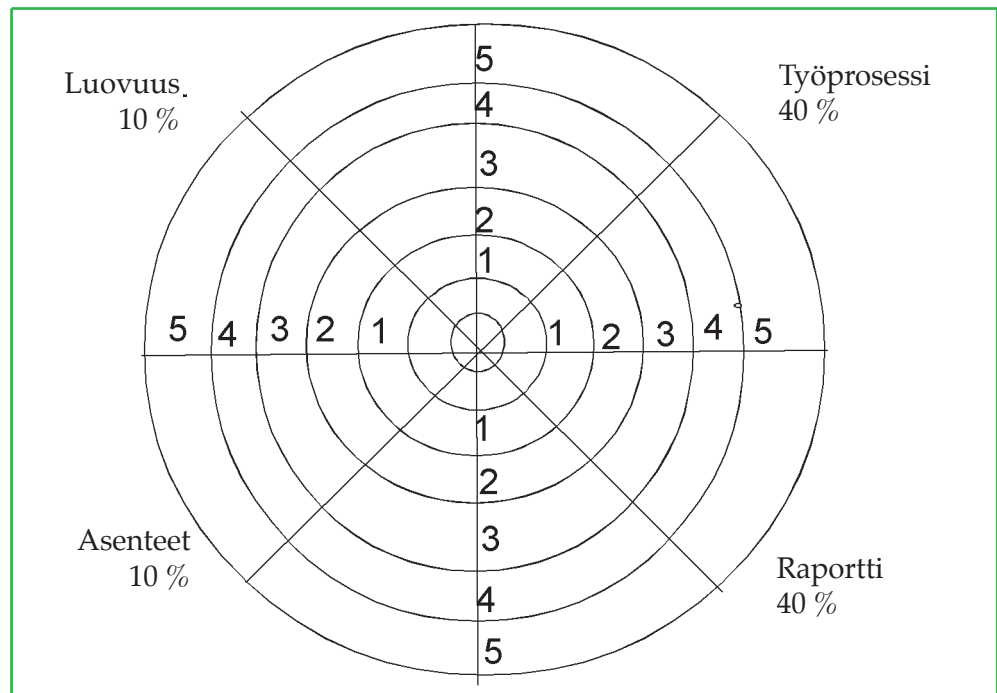
- I Teoreettinen sisältö
- 0 Tutkimuksessa ei esiinny teoreettisia periaatteita tai niiden käsitteleminen on hyvin rajoittunutta.
  - 1 Tutkimuksessa esiintyy teoreettisia periaatteita, mutta niiden käsitteleminen on hyvin rutiininomaista.
  - 2 Tutkimuksessa esiintyy teoreettisia periaatteita, ja niiden käsitteleminen on tehty ansiokkaasti.
- J Luonnontieteellisten menetelmien ja lähteiden käyttö
- 0 Luonnontieteellisiä menetelmiä ja lähteitä ei ole käytetty tai niitä on käytetty hyvin rajoitetusti.
  - 1 Sopivia luonnontieteellisiä menetelmiä ja lähteitä on käytetty, mutta hyvin rutiininomaisesti.
  - 2 Sopivia luonnontieteellisiä menetelmiä ja lähteitä on käytetty ja niiden valinnassa ja käytössä on nähtävissä persoonallista otetta.
- L Tutkimuksen arviointi
- 0 Kokeellisen menetelmän tai kirjallisten lähteiden puutteita ei ole huomioitu.
  - 1 Kokeellisen menetelmän tai kirjallisten lähteiden puutteita on huomioitu, mutta perusteltu hyvin ylimalkaisesti.
  - 2 Kokeellisen menetelmän tai kirjallisten lähteiden puutteita on huomioitu ja niitä on perusteltu asianmukaisesti. Epätarkkuudet kokeellisissa mittauksissa on arvioitu ottamalla huomioon koejärjestelyjen mahdolliset systemaattiset virheet ja tutkimuksessa käytetyt lähteet on huolellisesti analysoitu.
-

## 8.4 Monipuolinen arviointi

Kokonaisuuden arvioinnissa voidaan käyttää erilaisia malleja. Seuraavassa on esitetty Ravintolakoulu Perhon päättötyön arviointikaavake, jota voidaan soveltaa luonnontieteellisen tutkimuksen tekemiseen, Hiisi-vuori ym. esittämä malli sekä Olarin malli koko lukion aikaisesta työskentelystä. Lisää tutkimuksen arvioinnista on muun muassa Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitoksen kotisivulla: [www.malux.edu/helsinki.fi/](http://www.malux.edu/helsinki.fi/).

### Ravintolakoulu Perhon päättötyön arviointikaavake

Ammatillisessa koulutuksessa prosessin ja raportin lisäksi arvioidaan luovuutta ja asenteita pienillä suhteellisilla osuuksilla.



KUVA 3. Arvioinnin jakautuminen prosentteina

## Peruskoulun biologian tutkimusten arvioinnissa käytetty malli

Laatukriteerit	Arvosanat			
	Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Heikko
Kokeen suunnittelu ja kuvaus	Suunnitelma johdonmukainen ja tarkka.	Suunnitelmaa hie- man korjattava. Ko- keen kuvaus pääo- sin selkeä.	Suunnitelman yksi- tyiskohdat puutteel- lisesti kuvattuja. Yh- teys ongelmiin epä- selvä.	Suunnitelma heikko eikä se liity ongel- miin.
Kokeellinen työskentely	Sujuvaa ja oma- ehtoista. Laitteis- ton käyttö tar- koituksenmu- kaista.	Onnistuu vähäisen ohjauksen turvin.	Laitteiden ja välinei- den käytössä tarvi- taan runsaasti oh- jausta.	Huolimaton. Oh- jeita ei noudateta.
Havaintojen ja muistiinpano- jen tekeminen	Havainnot oikei- ta ja tarkkoja. Muistiinpanot huolellisia.	Havainnot kokeen mukaisia, mutta muistiinpanot osit- tain virheellisiä.	Havainnot ja muis- tiinpanot osin epä- täsmällisiä ja vir- heellisiä.	Havainnot epätark- koja. Muistiinpanot virheellisiä.
Selitys ja tul- kinta	Selitys johdon- mukainen. Tul- losten pohdinta ja arviointi on- gelmiin suhteu- tettua.	Selitys riittävä, mutta tulkinta osin virheellinen eikä liity kaikilta osin ongelmiin.	Tulosten selittämi- nen puutteellista, samoin arviointi. Autettaessa tulos- ten selittäminen onnistuu pääosin.	Tulosten selittämi- nen epäjohdonmu- kaista. Tulkinta jää ohjattunakin epä- määräiseksi.

Lainattu teoksesta:

Hiisivuori, Christa, Jeronen, Elina & Lappalainen, Annikki. 1994. Eliöt ja elämä / Vesien vuosi. Opettajan opas ja työkortit. Weiling & Göös.

On ollut käytössä joidenkin koulujen arviointimenetelmänä.

## Olarin malli

Olarin matemaattis-luonnontieteellisessä lukiossa opiskelija saa päättö- distuksen lisäksi sanallisen arvioinnin koko lukioaikaisesta matemaattis- luonnontieteellisten aineiden opiskelusta. Arvioinnissa opiskelijaa lukiossa opettaneet opettajat arvioivat opiskelijaa muun muassa seuraavien kritee- rien avulla:

- vastuun ottaminen (projektissa)
- ongelmanratkaisukyky
- laaja-alaisuus
- erityislahjakkuusalueet
- kokonaisvaltaisuus
- suullinen ja kirjallinen ilmaisutaito
- kädentaito ja näppäryys
- ryhmätyöskentelytaidot.

Opiskelijoista ei toki voida kirjoittaa arviointia kaikkia kriteerejä käyttäen, mutta jokainen voidaan arvioida ainakin joitain kriteerejä käyttäen. Tällä ar- vioinnilla ei ole lainkaan numerovastaavuutta ts. tiettyä sanallista arviointia ei voida määrittää numerolla.

## 9 Kirjallisuutta

### Suomenkielistä kirjallisuutta

Hakkarainen, K., Lonka K. & Lipponen, L. 1999. Tutkiva oppiminen. Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen.

<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbl/index.htm> tai  
<http://www.helsinki.fi/ml/kemia/opettajakoulutus/>

Lavonen, J. & Meisalo, V. 1994. Fysiikka ja Kemia opetussuunnitelmissa. Opetushallitus. Painatuskeskus. Helsinki.

Lavonen, J. & Meisalo, V. 2001. Kokeellisuuden työtavat.  
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/>  
(18.10.2002)

Lavonen, J. & Meisalo, V. 2001. Luonnontieteellinen koe koulun työtapana.  
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/tutkimus/>  
(18.10.2002)

Lukion opetussuunnitelman perusteet. 1994. Opetushallitus. Painatuskeskus. Helsinki.

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet. 1994. Opetushallitus. Neljäs korjattu painos. Edita Oy. Helsinki. 2000.

Rauste-von Wright, M-L. & von Wright, J. 1994. Oppiminen ja koulutus. WSOY.

Saari, H. & Viiri, J. 1998. Kokeellisuus ja mallintaminen luonnontieteissä. Opetushallitus.

Tynjälä, P. 1999. Oppiminen tiedon rakentamisena. Konstruktivistisen oppimiskäytöksen perusteita. Kirjayhtymä. Tammer-Paino Oy.

Uusikylä, K. 1996. Isät meidän: luovaksi lahjakkuudeksi kasvaminen. Atena.

### Englanninkielistä kirjallisuutta

Aksela, M. & Meisalo, V. 2000. School Chemistry in Inspiring Ways: A Web-based Investigative Environment for Interactive Chemistry Education, In Proceedings of 6th ECRICE, University of Aveiro, Portugal, pp. 41–52.

Bass, J. E. & Carin, A. A. 2000. Teaching Science As Inquiry, Prentice Hall College.

Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Patrick, H. & Krajcik, J. S. 1997. Teaching for understanding. Kirjassa B. J. Biddle, T. L. Good, & I. F. Goodson. (Eds.) International handbook of teachers and teaching Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.

Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. 1999. How people learn: Brain, mind, experience and school. Washington, DC. National Academy Press.

Delisle, R. 1997. How-to Use Problem-Based Learning in the Classroom. Assn for Supervision & Curriculum Development.



- Dunbar, K. 1995. How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. Kirjassa: R. J. Sternberg & J. Davidson. (Eds.) *Mechanisms of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. 1999. Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *The Journal of the Learning Sciences*. 8.
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredericks, J. & Soloway, E. 1998. Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*. 7.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R. & Soloway, E. 2000. Instructional, curricular, and technological supports for inquiry in science classrooms. Kirjassa: J. Minstrell & E. H. V. Zee. (Eds.) *Inquiring into inquiry learning and teaching in science*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Layman, J. W, Ochoa, G. & Heikkinen, H. 1996. *Inquiry and Learning: Realizing Science Standards in the Classroom*. The Thinking Series. College Entrance Examination Board.
- Leach, J. & Paulsen, A. (Eds.) 1999. *Practical Work in Science Education – Recent Research Studies*. Kluwer Academic Publishers.
- Lechtanski, V. L. 2001. *Inquiry-Based Experiments in Chemistry*. American Chemical Society.
- Lunetta, V. N. 1998. The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. Kirjassa: D. Tobin & B. J. Fraser. (Eds.) *International handbook of science education*. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.
- McDermott, L.C., Shaffer P. S. & Rosenquist, M.L. 1995. *Physics by Inquiry: An Introduction to Physics and Physical Sciences*. John Wiley & Sons.
- Moursund, D. 1999. *Project-Based Learning Using Information Technology*. Intl Soc for Tech in Educ.
- Olson, S. & Loucks-Horsley, S. (Eds.) 2000. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press.
- Polman, J. L. 1999. *Designing Project-Based Science: Connecting Learners Through Guided Inquiry*. Ways of Knowing in Science Series. Teachers College Pr.
- Roth, W. M. 1994. Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*. 31.
- Roth, W. M. 1995. *Authentic school science*. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S. & John, J. 1995. Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of The Learning Sciences*. 4.
- Singer, J., Marx, R.W., Krajcik, J., Chambers & Juanita, C. 2000. *Constructing Extended Inquiry Projects: Curriculum Materials for Science Education*. *Educational Psychologist*. Vol. 35 (3).

Soloway, E. & Krajcik, J. S. 1996. The investigator's workshop: Supporting authentic science inquiry activities. Arlington. VA: National Science Foundation.

Their, H. D. & Daviss, B. 2001. Developing Inquiry-Based Science Materials: A Guide for Educators. Lawrence Hall of Science. Teachers College Pr.

### **Opiskelijoille:**

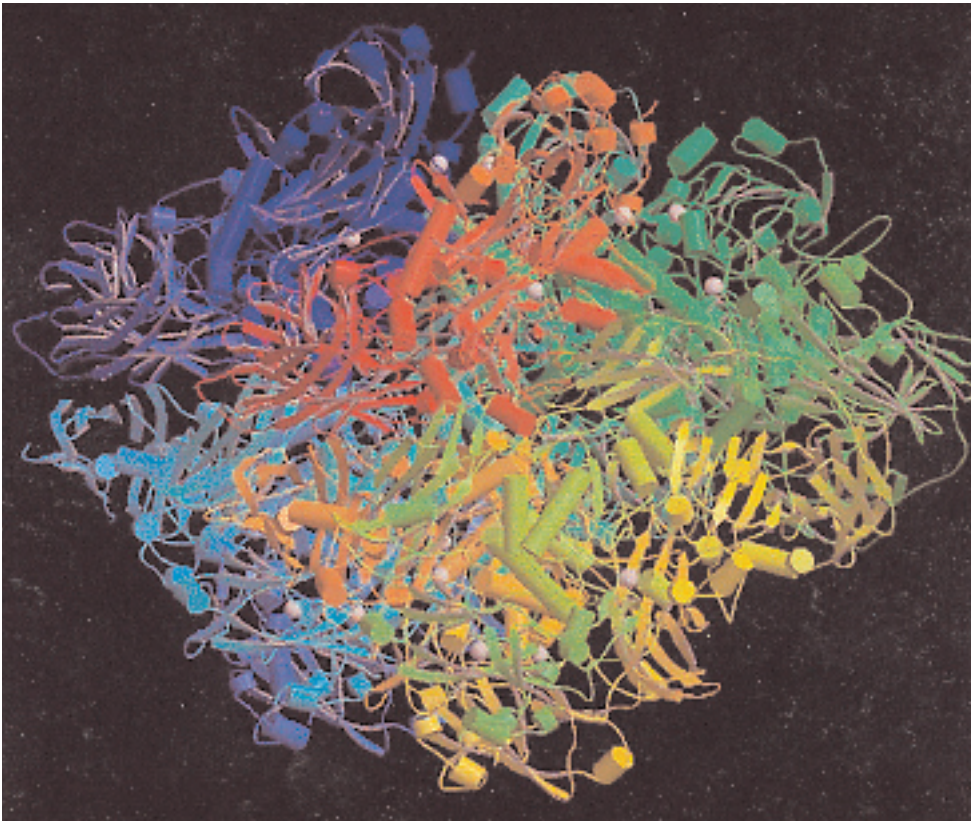
Heikonen, M. 1990. AIV – Keksintöjen aika. Painokaari Oy.

Koskimies, J. 1992. Kemian keksintöjä – alkuaineiden löytöhistoria. Gummerus Kirjapaino Oy.

## 10 Esimerkkitutkimuksia

### 10.1 Kemian tutkimus

#### An Investigation of the Effect of Different pHs on the Activity of $\beta$ -Galactosidase from *Aspergillus oryzae*



An example of the structure of beta-Galactosidase, chains a-h.

Terhi Lohela  
Extended Essay  
Helsingin Suomalainen Yhteiskoulu  
Spring 2001

## Abstract

This essay is written as an investigation of the activity of commercial  $\beta$ -galactosidase (lactase enzyme) in different pHs. The commercial product contains lactase enzyme from *Aspergillus oryzae* and is used by people who lack lactase and hence suffer from a condition known as lactose intolerance. The research question of this essay was: what is the pH range and optimum pH for the activity of  $\beta$ -galactosidase in a test tube, does this correspond to the pH of its real working environment and at which pH the enzyme is denatured? To answer the research question, a series of experiments was performed. Since the function of the enzyme is to break lactose into galactose and glucose, the activity of the enzyme was determined as the amount of glucose formed by the enzyme in different buffered pH-solutions. The amount of glucose was measured at certain time intervals during a period of three hours. Thus the optimum pH, which is the pH where the largest amount of glucose formed and the initial reaction rate (when no limiting factors were present) was obtained as well as the pH values where denaturation occurred.

The conclusion of this investigation was that the optimum pH of the commercial enzyme is 4.5. Its pH range is 3.5-8.5 as the enzyme is denatured in pHs of 2.5 and 9.5. The optimum pH is not the pH of the small intestine which is the real working environment for the enzyme nor is it the pH of stomach where the commercial enzyme could already begin to function. In fact, the pH of stomach denatures the enzyme. However, the enzyme from *Aspergillus oryzae* seems to be suitable for an orally consumed treatment, because it has a relatively large pH range and can thus survive pH large variations inside the human body.

## Table of Contents

The Topic	49
Research question	49
Section 1: Introduction	49
1.1 Enzymes as Catalysts	49
1.2 The Effects of pH-variations in the Enzyme Structure	52
Section 2: Development	53
2.1 Enzymatic Amperometric Measurement Principle	53
2.2 Sampling Design	54
2.3 Procedure	55
2.4 Results and Data Analysis	56
Section 3: Conclusion	60
Unresolved Questions and Further Investigation	61
Bibliography	61

## The Topic

An investigation of the effect of pH on the activity of  $\beta$ -Galactosidase (lactase enzyme) from *Aspergillus oryzae*.

## Research question

What is the pH range and optimum pH for the activity of  $\beta$ -Galactosidase in a test tube, does this correspond to the pH of its real working environment and when is the enzyme denatured?

## Section 1: Introduction

Lactose intolerance is a rather common condition in Finland and is caused by the lack of lactase enzyme by which lactose is converted into more digestible molecules, galactose and glucose (Figure 1.) (Mathews, C.K., van Holde, K.E. & Ahern, K.G. *Biochemistry*. 3rd ed. San Fransisco: Addison Wesley Longman, Inc., 1999. 297) in the small intestine (Henderson, A.R. *Enzymes; Gastric, Pancreatic, and Intestinal Function*. In: Tietz *Fundamentals of Clinical Chemistry*. Ed. Burtis, C.A. & Ashwood, E.R. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1996. 613–614). It is genetically inherited and thus it was not a surprise that I inherited it, because it has been acknowledged in my family for three previous generations although it was not diagnosed until my grandmother. Although there are many lactase enzyme containing medicines available for lactose intolerance, I have found them insufficient as have my relatives suffering from the same disease. This awakened my interest in the function of lactase enzyme and the conditions that it functions in.

Since an investigation of all the factors would have been too wide for the purposes of this project, I decided to concentrate on the effect of pH on the activity of lactase enzyme. The variations of pH in the human body and the individual differences in pH conditions could help to explain why the medicines provided for lactose intolerance do not always function efficiently. Also, a very interesting question is whether the pH of small intestine (about 8.5) (Taylor, D.J., Green, N.P.O. & Stout, G.W. *Biological Science 1&2*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 248) is the optimum for the activity of lactase enzyme. Thus, the research question of this project was formulated as follows: what is the pH range and optimum pH for the activity of  $\beta$ -Galactosidase in a test tube, does this correspond to the pH of its real working environment and when is the enzyme denatured? As I have not found the commercials very efficient, it would seem possible that the optimum pH for the enzyme is not the same as the working pHs inside a human body. Experiments on how efficiently lactase enzyme breaks lactose into galactose and glucose in different pHs as a function of time provide information on the pH range, the optimum pH, the pH of denaturation and the activity of the enzyme near the pH of the small intestine.

### 1.1 Enzymes as Catalysts

Enzymes are globular proteins that consist of chains of amino acids covalently joined together called a polypeptide. The function of enzymes is to



work as biological catalysts in reactions taking place in biological processes of living systems. Just like inorganic catalysts, enzymes lower the activation energy of a reaction taking place and accelerate the reaction rate. They are also reusable. However, unlike the inorganic catalysts, the enzymes lower the activation energy by replacing the large activation energy barrier by several lower ones whereas inorganic catalysts usually replace it only by one lower barrier (Figure 2.) (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 130–131). Another difference between the inorganic and organic catalysts is the substrate specificity, meaning that enzymes often have only one or very few biological substrates. An inorganic catalyst may catalyse a variety of reactions. (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 130–131)

In order to lower the activation energy, the enzyme binds with its substrate to form an enzyme/substrate complex whereas with the help of an inorganic catalyst the reacting particles in a system are able to overcome the repulsion forces between each other and to obtain a sufficient kinetic energy to collide and react. There are two suggested models for the function of the enzyme: the lock and key hypothesis and the induced fit hypothesis. According to both of them, the enzyme specificity for a certain substrate is due to the corresponding shapes of the substrate and the enzyme. The active site of the enzyme, which is only a small part of the enzyme, binds to the substrate molecules. At the active site, the interactions between the enzyme and the substrate or several substrates lower the activation energy for the reaction to proceed. As the products are formed from the substrates, they no longer fit the shape of the active site of the enzyme and thus leave the enzyme (Figure 3.) (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 130–131). Thus, in order to function, the enzymes have to possess a certain kind of shape so that the substrate molecule is able to attach to the active site. The shape of the active site of the enzyme is obviously very important, but so is the shape of the other parts of the enzyme. Their function is to maintain the globular shape of the entire molecule, and sometimes there are other special regions such as attachment sites for enzyme activators or inhibitors. (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 130–131)

Enzymes are vital for life. Without enzymes many processes, such as digestion, could not happen in living organisms. Enzymes are also very efficient compared to inorganic catalysts. This means in practise that a very small amount of enzyme can catalyse the formation of a very large amount of products. Although the enzymes affect very much the reaction rate, they do not alter in the reaction they catalyse, the properties of the end products of the reaction or affect the equilibrium of the system. (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 130–131)



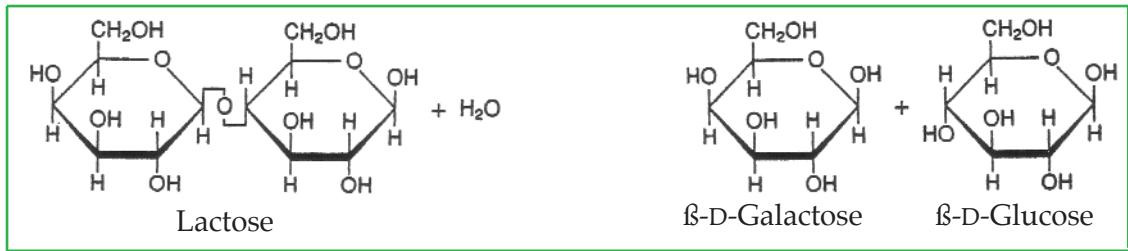


Figure 1. β-Galactosidase converts lactose into more digestible molecules, glucose and galactose

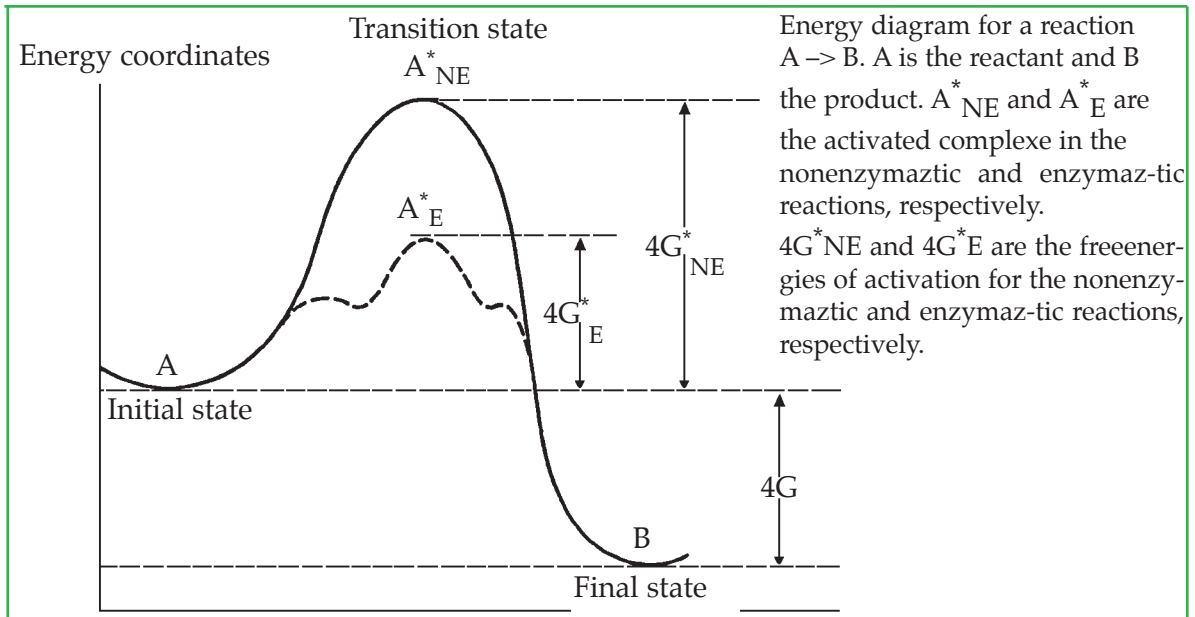


Figure 2. The enzymes lower the activation energy by replacing the large activation energy barrier by several lower ones whereas inorganic catalysts usually replace it only by one lower barrier

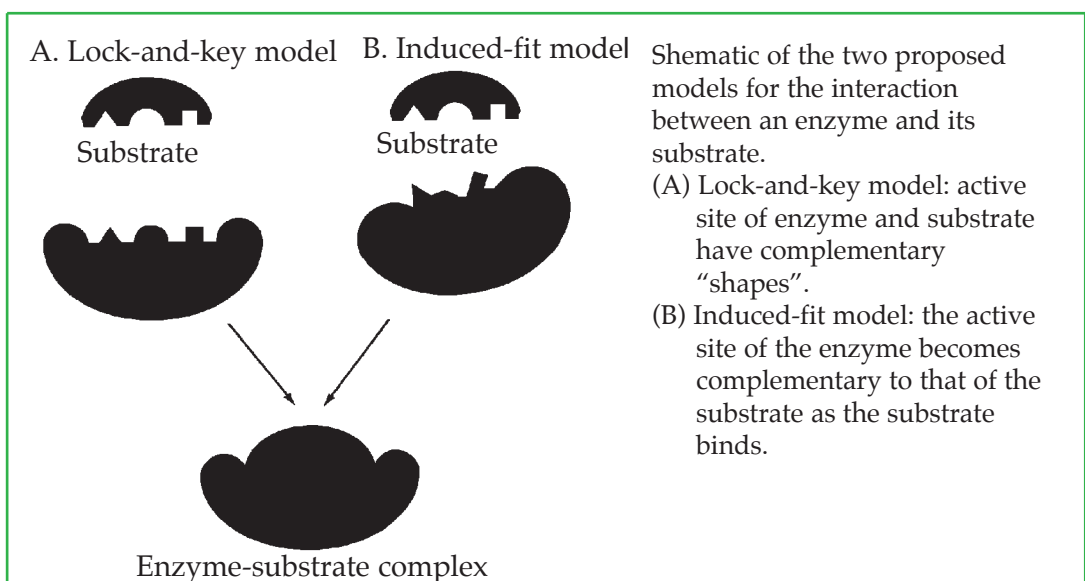


Figure 3. Two suggested models for the formation of enzyme/substrate complex

## 1.2 The Effects of pH-variations in the Enzyme Structure

The shape and conformation of an enzyme is determined by the interactions between the polypeptide and its aqueous environment. Polypeptides show four levels of structure. Primary structure is the number and sequence of amino acids, secondary structure is the structural regularity caused by the hydrogen bonding between the amino(-NH) and carboxyl(-COOH) groups of the amino acids. The tertiary structure is determined by the folding and coiling of the polypeptide chain to the three dimensional shape. The quaternary structure involves two or more polypeptide chains associating to form biologically active enzyme although some enzymes consist of only one polypeptide chain. (Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983. 77–81)

Enzymes are globular proteins, which means that they have spheroidal and compact structures and that they are soluble in water. These features are naturally very important to the function of living systems. As explained before, the three-dimensional structure is crucial for the binding of the substrate. However, the structure can be altered by environmental changes, such as variations in pH, temperature or the addition of a variety of chemical agents called denaturants. (Creighton, T.E. *Proteins. Structures and Molecular Properties*. 2nd ed. New York: W.H.Freeman and Company, 1993. 287)

Unfolding of the polypeptide chain is called denaturation. Denaturation is usually reversible and does not need to involve changes in covalent bonding within the enzyme. In this case, the structure of the enzyme can be regained in a process called renaturation. (Taylor, D.J., Green, N.P.O. & Stout, G.W. *Biological Science 1&2*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 104). However, sometimes the unfolding can cause the breakage of some bonds or lead to mutations or deletions. This is called irreversible inhibition of the enzyme function and the enzyme is deactivated completely.

The forces that determine the three-dimensional shape of an enzyme molecule include polar bonds, hydrogen bonds, van der Waal's forces, nonpolar attractions and electrostatic attractions. (Mathews, C.K., van Holde, K.E. & Ahern, K.G. *Biochemistry*. 3rd ed. San Fransisco: Addison Wesley, Longman, Inc., 1999. 183–184). The globular shape of the enzyme is maintained so that polar amino acid residues are on the surface of the enzyme whereas the hydrophobic groups are in the inner parts of the folded enzyme. Variations in pH affect the three dimensional structure, because they change the polar and non-polar attractions and repulsion forces within the enzyme molecule and thus alter the shape of the protein so that the substrate cannot attach to the active site any more. The reaction catalysed by the enzyme is then slowed down or inhibited completely. In a very alkaline solution, the acid groups (such as -COO<sup>-</sup>) will be protonated and in very acidic environment, any basic groups (such as -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> -groups) will be deprotonated.

Unfolding of enzymes at extremes of pH occurs because unionised groups become ionised and vice versa, and salt bridges, which are ionic bonds in the structure, are broken. (Creighton, T.E. *Proteins. Structures and Molecular Properties*. 2nd ed. New York: W.H.Freeman and Company, 1993. 293). When the pH of the environment of an enzyme is at the enzyme's isoelectric point (at

the point where its net charge is zero) the net intramolecular repulsion and attraction forces will be also at zero and the enzyme is solubility of the enzyme is poor. (Cheftel, J.C., Cuq, J-L. & Lorient, D. Amino Acids, Peptides, and Proteins. In: Food Chemistry. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1985. 272)

Every enzyme has a pH range in which they are active and outside of which they are inhibited. The pH range and the optimum pH depend on the enzyme used, the source that the enzyme is taken from and even the substrate that the enzyme catalyses. )Reed, G. General Characteristics of Enzymes. & Effect of Temperature and pH. In: Enzymes in Food Processing,. 2nd ed. New York: Academic Press, 1975. 28-41, 96). The activity of the enzyme decreases gradually from the optimum pH, because the electrostatic interactions and hence the structure are altered as base or acid is added. Because enzymes are vitally important to living systems, the biological systems have buffers, substances that resist the change in pH. (Campbell, M.K. Biochemistry. 2nd ed. Orlando: Saunders College Publishing, 1991. G-2 GLOSSARY)

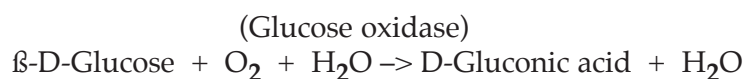
## Section 2: Development

In order to answer the research questions, a series of experiments was performed. The aim of the experiments was to investigate the effect of different pH-values on the function of lactase enzyme (from a commercially available treatment for lactose intolerance, Lactrase®) against time. The activity of the enzyme was measured as the amount of glucose formed from a known amount of lactose and enzyme. The experiments were performed in the laboratory of Hyvinkää hospital and the amount of glucose formed was measured with the Ebio 6666 analyser, which was known to give very accurate results. It measures the amount of glucose in a solution which is directly proportional to the amount of lactose broken. Working of the Ebio 6666 is based on enzymatic amperometric measurement principle which is shortly described in the following paragraph.

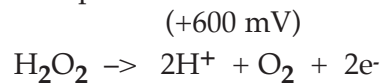
### 2.1 Enzymatic Amperometric Measurement Principle

The working of the enzymatic amperometric measurement principle in Ebio 6666 analyser is presented in a form of a diagram in Figure 4 (Taylor, D.J., Green, N.P.O. & Stout, G.W. Biological Science 1&2. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 248).

The measurement of a glucose sample in Ebio 6666 analyser begins when the sampler of the analyser descends into the glucose solution where a sample is then taken from. This sample is then transferred to a measurement chamber where it passes across the enzyme membrane and the glucose in the sample reacts with an enzyme, glucose oxidase. Glucose oxidase catalyses the formation of gluconic acid and hydrogenperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) from glucose according to the following equation: (Taylor, D.J., Green, N.P.O. & Stout, G.W. Biological Science 1&2. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 248)



Hydrogenperoxide formed in the reaction then diffuses across the enzyme membrane and is oxidised in the platinum electrode in + 600 mV according to the following equation:



Ebio 6666 then analyses the current produced by the electrons formed in the reaction above and derives the value of current/time -graph. The maximum value is changed into voltage value, which is directly proportional to the concentration of glucose in the sample. (Manufacturer Eppendorf-Netheler-Hinz-Gmbh, 2000 Hamburg. The manual for Ebio 6666 analyser)

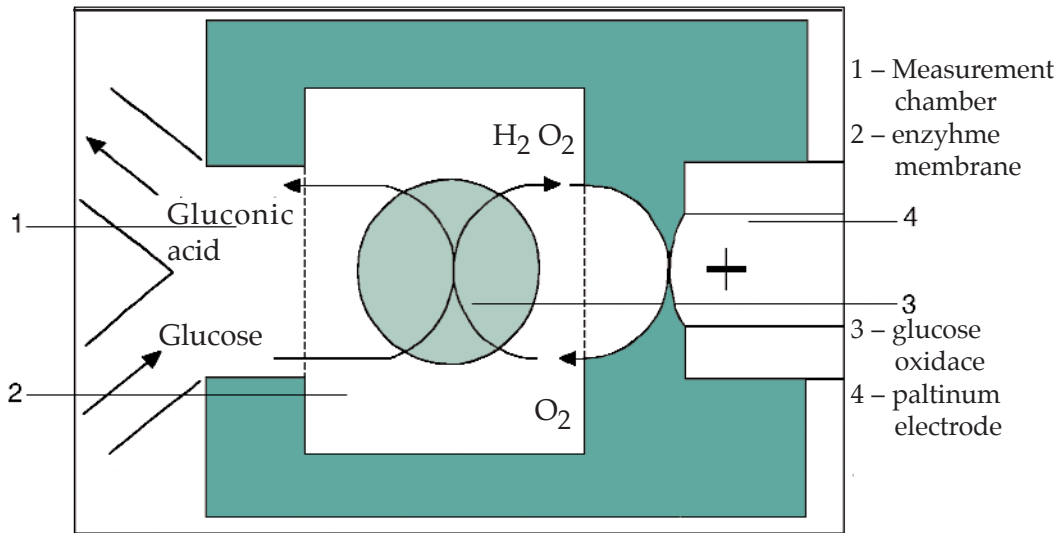


Figure 4. The Enzymatic Amperometric Measurement Principle

## 2.2 Sampling Design

Several preliminary tests were carried out to find out a reasonable ratio between the lactase enzyme and lactose concentrations so that the reaction would not proceed too fast or too slowly or exceed the measuring capacity of the Ebio 6666. This was very important because the ratio between the substrate and the enzyme had to be kept constant with every pH-value to be able to compare the results.

Buffer solutions were made ranging up and down from pH-value of 4.5, because this was known to be the theoretical optimum pH, at one unit intervals until the enzyme was deactivated in both ends because of too acidic or basic conditions. Thus, a range for the function of the enzyme was received. The pH range included the values 8.5 and 2.5 corresponding to the pH values of the human small intestine and stomach<sup>15</sup>, respectively. The temperature was kept constant at 37°C which also corresponds to the temperature inside the human body.

The time period of three hours was chosen because it was long enough to obtain a reaction rate for different pH-values but did not occupy the Ebio 6666 for too long, did not take too much equipment/resources or disturb the work of the laboratory staff at Hyvinkää hospital. However, the results gained provided a good basis for determining the pH range and the optimum

pH and gave clear differences in the activity of the enzyme in different pHs. For every time point, two samples were analysed in the Ebio 6666 to be able to calculate the average of the two and hence make the results more accurate. Also, control tubes were used all the time to see that no glucose was already present in the solutions and to make sure that all of the glucose present was formed by the enzyme during the reaction.

The lactase enzyme was acquired from a medicine for lactose intolerance, Lactrase®, and was kindly supplied by the company Oy Verman Ab, which markets the commercial product in Finland. The enzyme used is contained in capsules with approximately 250mg of  $\beta$ -Galactosidase enzyme from *Aspergillus oryzae*. This particular product was chosen from among other similar products available, because it is in powder form inside the capsules. Powder could be easily dissolved into water and weighed accurately so that the same amount of enzyme containing powder was used in every single experiment. Other materials and resources were provided kindly by the Hyvinkää hospital.

### 2.3 Procedure

First of all, a series of buffer solutions were prepared. Initially a buffer for pH 4.5 was prepared by diluting 57.5ml of glacial  $\text{CH}_3\text{COOH}$  with water into 500ml. 50ml of this solution was mixed with aqueous 4M NaOH (11.3ml) in a 1000.0ml volumetric flask which was then filled with distilled water. From this solution, a range of buffers (pH 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5 and 9.5) were adjusted with the help of a pH-meter. In the case of very high or low pH-values no acid or base, respectively, was needed at all.

Then the substrate and the lactase solutions were prepared. Substrate solutions were done by diluting powdered lactose (370.0mg) into the different buffer solutions (20.0ml of each). The lactase solution was prepared by mixing the lactase enzyme powder (400.0mg) into distilled water (200.0ml).

The actual experiment was conducted by putting 2.0ml of substrate solution in a test tube to the temperature of  $37^\circ$  inside a heat block for ten minutes to adjust. Then a working solution was prepared by adding 0.5ml of lactase solution into the substrate solution to start the reaction.  $20.0\mu\text{l}$  samples of the working solution were taken at five minute intervals (for one and a half hour) and then at ten minute intervals (for one and an half hour) and the reaction was stopped with 1.0ml of haemolysis solution obtained from the hospital. Two  $20.0\mu\text{l}$  samples from the working solution were taken every time. The control solutions were done similarly to the working solution except that distilled water was used instead of lactase solution. The amount of glucose present in each of the samples taken from the working solution was determined with Ebio 6666. The test tubes used were also stirred after one and an half hour after starting the experiment to avoid the accumulation of the reagents onto the bottom of the tube.



## 2.4 Results and Data Analysis

The activity of the  $\beta$ -Galactosidase is represented graphically in Figures 5, 6, 7 and Table 1.

The first graph (Figure 5.) represents the formation of glucose as a function of time.

The optimum pH for lactase enzyme from *Aspergillus oryzae* is 4.5 which can be seen clearly from Figure 5. The graph for pH 4.5 reaches the highest value of the amount of glucose formed during the three hour time period. The slope for the pH value 4.5 is also steepest which means that more glucose against time is formed (reaction rate is higher) compared to the slopes for other pH values. Since the enzyme favours an acidic environment, the net charge on the enzyme molecule is positive when it has its three dimensional shape that is needed for the enzyme-substrate complex to form.

A small addition of acid or base alter the interactions within the molecule as a consequence of which the structure is altered too. However, a small change does not alter the active site of the enzyme completely which makes it possible for the enzyme to continue to catalyse the reaction. This is why glucose is still formed quite efficiently in pH values of 3.5 and 5.5.

When the pH decreases two units from the optimum to a value 2.5 and the concentration of protons increases thus  $10^2$  mol/l, the enzyme activity is diminished to zero by excess protonation. Hence the structure is unfolded and denatured whereas similar increase in hydroxide ion concentration does not inactivate the enzyme completely. This is probably due to the fact that in an environment of pH of 6.5 the enzyme is still slightly protonated and thus the net charge is still positive which is a favourable condition for the enzyme. The formation of glucose is, however, decreased because the hydroxide ions remove protonated groups thus altering the structure. Eventually, the enzyme is denatured in the basic side of the pH range too, at 9.5, where the enzyme activity is zero as no glucose is formed. Already a hydroxide ion concentration of  $10^{-5.5}$  mol/l denatures the enzyme whereas the enzyme is not denatured until a proton concentration of  $10^{-2.5}$  mol/l.

All of the curves for different pHs in Figure 5. are similarly shaped. They all rise rapidly at first, but then the reaction rate slowly decreases. This is due to the decreasing amount of lactose in the solution and the aging of the enzyme. The amount of lactose decreases as it is converted into galactose and glucose and as a consequence of this, the enzyme does not collide and form the enzyme-substrate complex with as many lactose molecules in the solution as in the beginning. The aging of the enzyme results from chemical reactions that are produced in aqueous, oxygen rich environments, such as oxidation and deamination. (Creighton, T.E. Proteins. Structures and Molecular Properties. 2nd ed. New York: W.H.Freeman and Company, 1993.464-465). Living organisms have defence mechanisms against these, but in a test tube these mechanisms were not present.

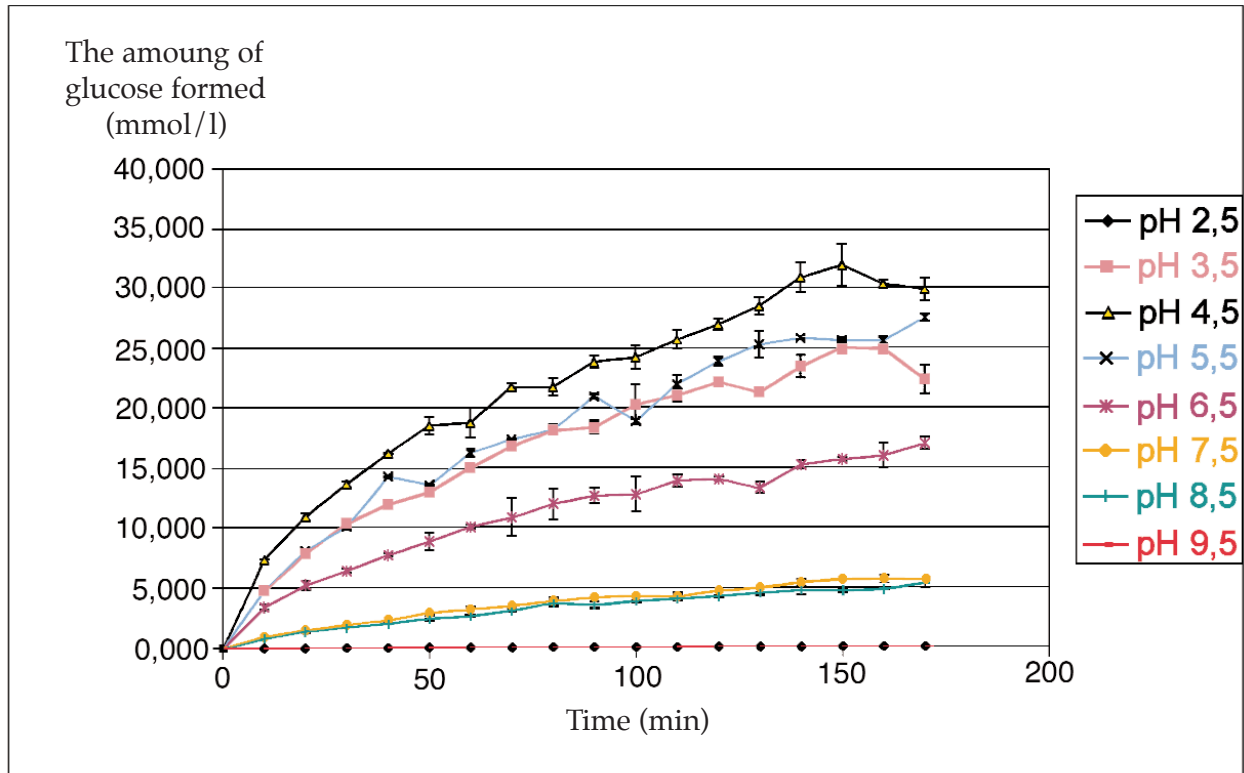


Figure 5. Formation of Glucose As a Function of Time

The main errors in this investigation are due to the errors caused by the pH-meter, the weighing and pipetting errors and the inaccuracy of the volumetric flasks and pipettes. Also the  $\beta$ -Galactosidase concentration of the Lactrase® powder may vary slightly from capsule to capsule. The error caused by the Ebio 6666 are very small compared to the other errors. However, the error bars seem to get larger as the glucose concentration rises. This is due to the fact that the analyser is set to give most accurate values for glucose levels corresponding to the concentrations of blood glucose of a normal person ( $<5.5$  mmol/l) (Koivisto, V. et al. Sokeritauti. In: Kliininen endokrinologia. Ed. Lamberg, B-A., Koivisto, V. & Pelkonen, R. 4th ed. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1992. 351). The error bars are shown as standard deviation values for each point and have been calculated by Microsoft Excel of the two values received for every point.

Figure 6. represents the formation of glucose during the first ten minutes for each of the different pH values more closely. These first minutes indicate the situation when no limiting factors are present: the amount of glucose is not a limiting factor yet, no aging has occurred and neither, the glucose nor the enzyme have sunken to the bottom of the test tube thus reducing the surface area of the reacting particles.

The formation of glucose over a time period of ten minutes. Here no limiting factors are present and the reaction proceeds nearly linearly.

As can be seen from the regression lines (Lin.) drawn with Microsoft Excel for each of the curves for different pHs, the relationship of glucose formed and time initially is almost linear. This is typical for an enzyme catalysed



reaction. During these first ten minutes of the reaction, there are a lot of free substrate molecules present and the enzyme works very efficiently converting nearly a third of the total amount of lactose broken during three hours.

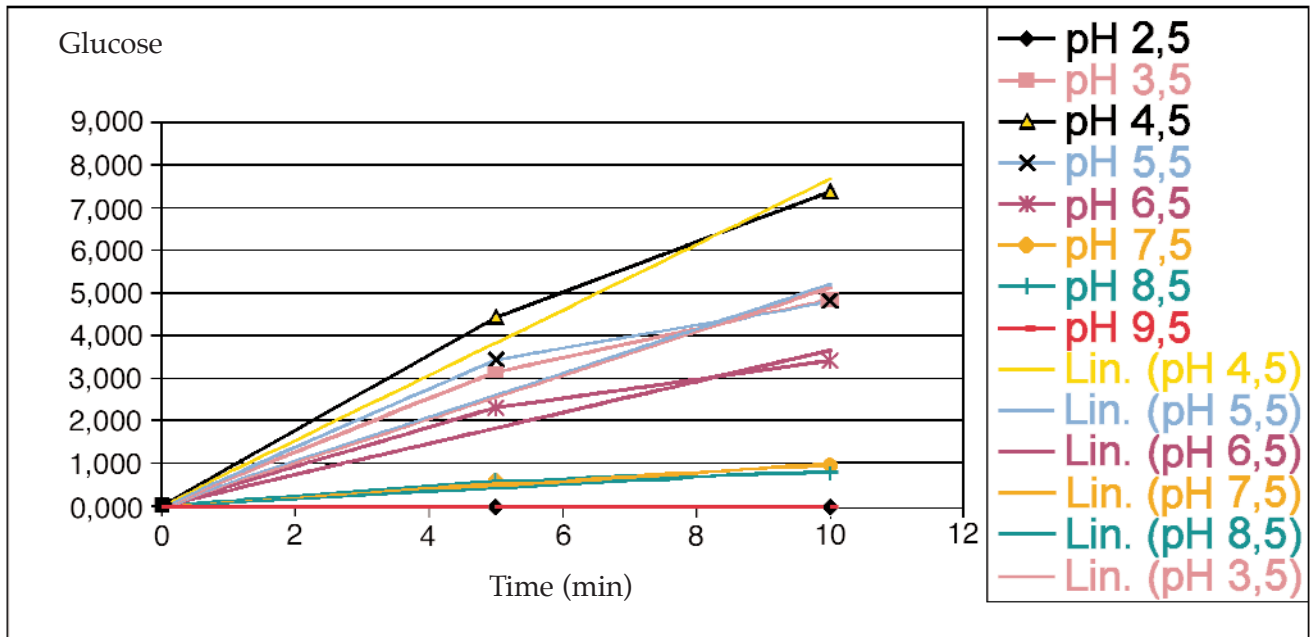


Figure 6. Formation of Glucose During the First Ten Minutes

The correlation values ( $R^2$ ) for the regression lines in Figure 6. were obtained with the used of Microsoft Excel –program. They, all having a value over 0.9, indicate that the regression lines in Figure 6. indeed are almost linear and that initial glucose formation without limiting factors is almost linear for every pH. From the lines, approximate initial reaction rates for the enzyme in different pHs were calculated with Microsoft Excel by, according to the definition of reaction rate, taking the gradient of the curves.

The initial reaction rate values seem to fall at quite regular intervals from the optimum pH of 4.5. The difference between adjacent pHs is about 0.200mmol/1/min, except for the pHs of 8.5 and 9.5 which have nearly equal initial reaction rates.

The correlation values for the regression lines were calculated with Microsoft Excel -program. Taking the gradients from the regression lines provided the initial reaction rates for different pHs.

Figure 7. represents the effect of pH on the reaction rate of  $\beta$ -Galactosidase from *Aspergillus oryzae*. The optimum pH is on the acidic side, but the curve is also very much steeper on the acidic side. In pHs higher than 4.5 the curve decreases slower to zero and is wider than in pHs lower than the optimum. The shape of the curve shows the typical trend for the effect of pH on the reaction rate of an enzyme catalysed reaction (Figure 8) (Fennema, O.R. Food Chemistry. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1985. 417), but is not exactly similarly shaped since the shape of the curve varies according to the enzyme and the source of the enzyme and is naturally also affected by the errors of this investigation and the fact that the initial reaction rates are calculated from the regression lines and thus do not accurately correspond to the reaction rate of the experiment.

pH	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
Rate (mmol/l/min)	0	0.518	0.771	0.526	0.370	0.100	0.089	0
R <sup>2</sup>	N/a	0.966	0.984	0.932	0.953	0.989	0.914	n/a

Table 1. The Correlation Values for the Regression Lines and Initial Reaction Rates for the Different pHs

Plotting the initial reaction rates against pH shows a typical trend for an enzyme catalysed reaction.

The pH range, from 3.5 to 8.5, and the optimum pH of 4.5 are supported by approximately corresponding literature values for the enzyme contained in Lactrase® where the pH range is given as 4.0-8.0 and the optimum pH 4.5-5.5. (Jeffrey, A. et al. Vol 1.111. No 1. In: Journal of Pediatrics. July 1987. 91-94). Hence, the results obtained from this investigation seem to support the previous studies done.

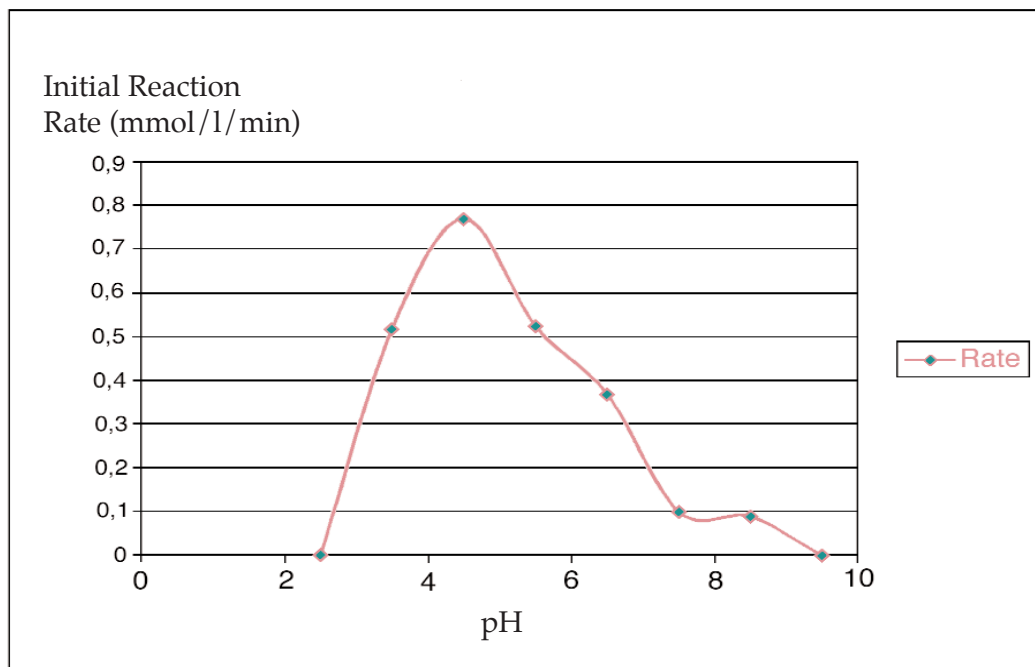


Figure 7. The Effect of pH on the Reaction Rate of Beta-Galactosidase

The optimum pH of 4.5 does not correspond to the pH of small intestine, approximately 8.5. Although the temperature was maintained at a human body temperature (37°C), the environment inside a human body differs greatly from a test tube environment. There are inhibitors and assisting molecules, such as coenzymes, for the reaction inside the human body which could not possibly work in the optimum pH of the enzyme. Also, both the enzyme and the substrate molecules are distributed over a wider area than in a test tube. It could also be possible that the enzyme is designed to function already in the acidic environment of the stomach, which seems very unlike as the enzyme is denatured already in the pH 2.5.

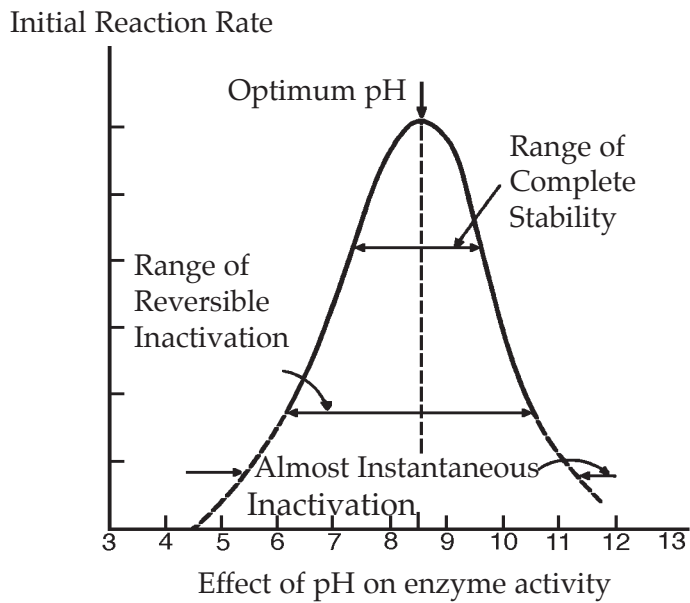


Figure 8. Theoretical Shape for the Effect of pH on Reaction Rate of an Enzyme Reaction

### Section 3: Conclusion

The research question of this essay was to assess the optimum pH, the pH range and the activity of the  $\beta$ -Galactosidase from *Aspergillus oryzae* in the pH of its real working environment. The results of the experiments performed to answer the research question indicate that the optimum pH for the  $\beta$ -Galactosidase is 4.5 as the largest amount of glucose was formed and the initial reaction rate was highest in this pH. The pH range is 3,5–8,5 as the enzyme is denatured in pHs of 9.5 and 2.5. 4.5. The optimum pH and the pH range are consistent with previous investigations.

The pH of the small intestine 7.5 is far from the optimum pH as the initial reaction rates for the reaction fall almost linearly when the pH rises from 4.5 one unit at a time. It is not known whether the capsule is meant to break in the stomach or in the small intestine because any details or further information of the commercial Lactrase® was not available since it is kept as a business secret. Neither, the pH of the stomach nor the small intestine are optimum for the enzyme and the enzyme denatures in the pH of stomach. The enzyme seems to, however, to be very suitable for an orally taken commercial since its structure can survive over large variations in hydroxide ion and hydrogen ion concentrations without complete deactivating and loss of three-dimensional shape and thus it can survive the large pH variations inside the human body. A low optimum pH together with high temperatures tend to also minimise microbial spoilage during processing. (Jeffrey, A. et al. Vol 1.111. No 1. In: Journal of Pediatrics. July 1987. 91–94. Kulp, K. Carbohydrases. In: Enzymes in Food Processing. 2nd ed. New York: Academic Press, 1975. 97).

The initial reaction rates show clearly the effect of pH on the activity, because no limiting factors are present. However, a test tube environment do-

es not correspond to the real environment of the enzyme and the lactase and lactose concentrations and the pH of the small intestine are different and vary from individual to individual in addition to which they vary according to the amount of lactose consumed recently and lactase produced by an individual. Only very few people lack lactase completely and thus, the lactase received from the commercial product is only assisting the enzyme produced by the human body itself.

### Unresolved Questions and Further Investigation

This investigation could be expanded by further experimenting by, for example, varying the substrate and enzyme concentration and finding out the order of the reaction and rate constant for this reaction. Thus, the saturation point, where the all of the active sites of the enzyme molecules are saturated, could have been obtained and thus some indication of the amount of enzyme needed for certain amount of lactose consumed could have been received. In my investigation both, the enzyme and substrate concentrations, were kept constant.

A second investigation could have been whether very acidic environments can irreversibly denature the enzyme in order to find out whether the acidity of stomach is able to break the covalent bonds and hence deactivate the enzyme completely which would make orally consumed commercial lactase useless.

Although these would provide more information on the efficiency of the enzyme, the results of these experiments could only provide some indication of the optimum conditions needed, but do not apply to individual cases.

### Bibliography

- Armstrong, F.B. *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1983.
- Campbell, M.K. *Biochemistry*. 2nd ed. Orlando: Saunders College Publishing, 1991.
- Cheftel, J.C., Cuq, J-L. & Lorient, D. *Amino Acids, Peptides and Proteins*. In: *Food Chemistry*. Ed. Fennema, O.R. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1985.
- Creghton, T.E. *Proteins. Structures and Molecular Properties*. 2nd ed. New York: W.H. Freeman and Company, 1993.
- Eppendorf-Netheler-Hinz-Gmbh, 2000 Hamburg. *Manual for Ebio 6666 analyser*.
- Henderson, A.R. *Enzymes; Gastric, Pancreatic, and Intestinal Function*. In: *Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry*. Ed. Burtis, C.A. & Ashwood,

E.R. 4th ed. Philadelphia: W.B.Saunders Company, 1996.

Jeffrey, A. et al. Efficacy of lactase-treated milk for lactose-intolerant pediatric patients. In: Journal of Pediatrics. Vol 111. No1. July 1987. St.Louis: C.V. Mosby Company, 1987.

Koivisto et al. Sokeritauti. In: Kliininen endokrinologia. Ed. Lamberg, B-A, Koivisto, V. & Pelkonen, R. 4th ed. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1992.

Kulp, K. Carbohydrases. In:Enzymes in Food Processing. Ed. Reed, G. 2nd ed. New York:Academic Press, 1975.

Mathews, C.K., van Holde, K.E. & Ahern, K.G. Biochemistry. 3rd ed. San Fransisco: Addison Wesley Longman, Inc., 1999.

Reed, G. Effect of Temperature and pH. & In: Enzymes in Food Processing. Ed. Reed, G. 2nd ed. New York: Academic Press, 1975.

Reed, G. General Characteristics of Enzymes. In: Enzymes in Food Processing. Ed. Reed, G. 2nd ed. New York: Academic Press, 1975.

Taylor, D.J., Green, N.P.O. & Stout, G.W. Biological Science 1 & 2. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

## 10.2 Fysiikan tutkimus

### The Effect of Friction on Skateboarding

Antti Petöjistö  
31.1.1994

## Abstrac

**T**his essay is investigating the underlying phenomena that makes skateboarding possible, namely the various forms of friction involved. I concentrate on the friction between the wheels and the ground (i.e. ground friction), since it enables a skateboarder to accelerate the board by zigzagging, i.e. moving the front wheels back and forth.

I find that when the rider is rolling, he leans and pushes himself in the direction perpendicular to the wheels, i.e. uses ground friction to accelerate and gain a lateral velocity component. Then he turns the board in the direction of the resultant velocity. As the velocity of the system increases, the efficiency of this method decreases. When the accelerating force equals the resistance to rolling, the system has attained its terminal velocity.

In the first one of the three experiments, I roll down a slope of a known height to determine the resistance to rolling. Then I roll down the same slope and perform a slide, i.e. I make the board skid sideways and decelerate, in order to determine ground friction. In the third experiment, I zigzag along a surface as fast I can and measure the terminal velocity as well as the shape of the sinusoidal path along which I travel.

Analyzing the third experiment in the light of the two experiments, I find that the board turns considerably more than the instantaneous push model suggests. In reality, the rider keeps accelerating his body sideways while he is turning the board, since his center of mass cannot deviate much from the equilibrium position. As a result, he has to work somewhat harder to accelerate, and the measurements confirm that the actual terminal velocity truly was the maximum velocity attainable under those circumstances.



## Table of Contents

1	Introduction	66
2	Turning and Accelerating	66
2.1	Turning while Stationary	66
2.2	The Three Types of Friction Involved	67
2.3	Acceleration by Turning 90°	67
2.5	Acceleration by Turning, Initial Velocity > 0	69
3	Measurements of the Retarding Forces	69
3.1	Rolling Friction	69
3.1.1	The Free Roll Experiment	69
3.1.2	Results	70
3.1.3	Error Analysis	70
3.2	Ground Friction	70
3.2.1	The Slide	70
3.2.2	The Slide Experiment	72
3.2.3	Results	72
3.2.4	Error Analysis	72
4	Maximum Velocity Attainable	73
4.1	Zigzagging	73
4.2	Maximum Velocity	73
4.2.1	The Maximum Velocity Experiment	74
4.2.2	Results	74
4.2.3	Error Analysis	74
4.3	Calculation of Push Velocity, Optimum Angle	74
4.4	The Actual Acceleration Process	76
5	Conclusion	77
	Bibliography	77

## 1 Introduction

In this essay, I will investigate the effects of friction on skateboarding. When I was younger and practiced skateboarding, I kept wondering, why a skateboarder can accelerate himself and the board without touching the ground with his feet. Starting at rest and standing on the board, I would begin by turning the front wheels in one direction, and then back in the other direction. This would accelerate the board, and by continuous zigzagging I would be able to reach a surprisingly great velocity on a smooth horizontal surface. Now I set out to solve that problem and investigate the factors that make this acceleration possible.

The system of the rider and the board is in contact with the air and the ground, so the external force accelerating it must come from either one of them. Like scimboarders do, so the relevant force is friction. There are two external frictional forces involved: the force resisting the rotation of the wheels when the skateboard is rolling in a straight line, and the force between the ground and the wheels resisting their lateral motion.

To find out the exact effects of these forces, I planned three experiments. In the first one, I rolled down a slope of a known height to determine the resistance to rolling motion. Then I rolled down a slope of a known height and performed a slide, i.e. I made the board skid sideways and decelerate in order to determine the sliding friction. In the third experiment, I zigzagged along a surface as fast as I could and measured the maximum velocity as well as the shape of the sinusoidal path alone, which I traveled. This experiment was intended to verify to some extent the results of the first two experiments and show the differences between reality and the simplified model I built based on the previous results.

Hardly surprisingly, I could not find any source material on the physics of skateboarding. However, the principles involved, i.e. mostly Newton's laws, do not differ from those applied in any other mechanics problems. Hence, I just consulted some general physics textbooks and derived applications from my general knowledge of physics. Conversely, investigating these phenomena contributed to my overall understanding of mechanics.

## 2 Turning and Accelerating

Let us now examine the fundamental physics involved in zigzagging and the acceleration it produces. I will start with a simple case and approach reality by complicating the situation step by step.

### 2.1 Turning while Stationary

The skateboarder starts with the normal stance: left foot near the nose of the board, right foot on the upward-sloping tail (see figure 1). Initially the system, i.e. the rider and the board, is at rest. He then shifts his weight

more onto the right foot. Since the torque lifting the nose of the board (weight on the right foot times the moment arm) is now greater than the torque pressing, the nose down (weight on the left foot times the moment arm), the net torque causes an angular acceleration, lifting the nose and the front wheels at an increasing speed (see figure 2). Now the board rests on its two back wheels and is ready to turn. The skateboarder turns it, say, 40°. At the same time he shifts his weight back onto the front foot to bring the front wheels back on the ground. When the front wheels land, he has completed the turn. This results in the board turning 40°, but the center of mass of the system does not move, as no external force acts on it.

Figure 1.

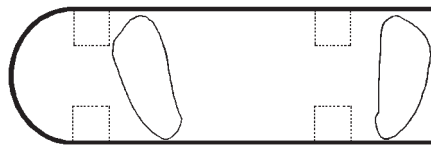
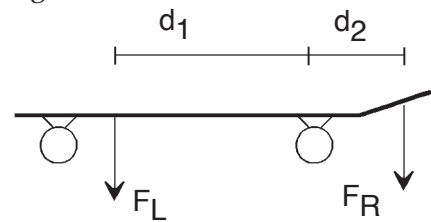


Figure 2.



If  $F_R d_2 > F_L d_1$ , angular acceleration follows. Mass of the board negligible in this case

## 2.2 The Three Types of Friction Involved

If the system is to accelerate, there has to be an external force acting, on it. This force is friction. In this case, there are three types of friction. First, the resistance to rolling motion, which I will call rolling friction. Second, the sliding friction between the wheels and the ground, i.e. ground friction. Third, the static friction between the rider's feet and the grip tape on the deck, i.e. grip friction.

Since we start at rest, we can ignore rolling friction for a while. Ground friction, whose maximum value is considerably greater than rolling friction, is the system and the external world, i.e. the stationary ground, relative to which the system moves.

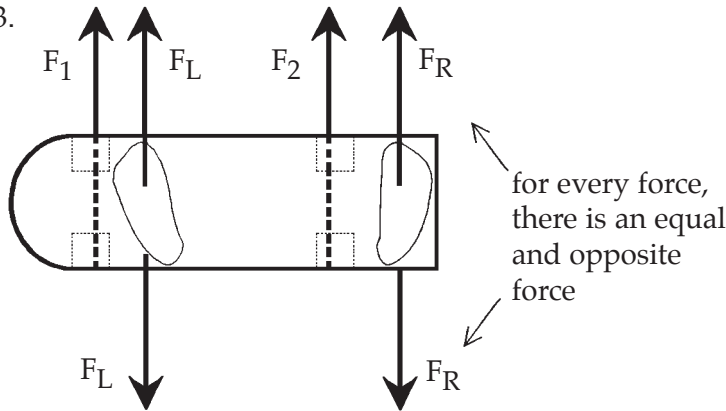
Grip friction is the force connecting the board and the rider. It conveys the movement of the rider's feet to the board. Its magnitude is so great due to the rough surface of the grip tape that the rider's feet do not usually slip. Thus, we can consider the board as an extension to the rider's feet and forget about grip friction.

## 2.3 Acceleration by Turning 90°

Ground friction can only act in the direction perpendicular to the direction of the wheels. Hence, the skateboarder can only accelerate his body sideways; if he jumped in any other direction, the board would accelerate away from him, since the wheels are free to move. Just before making the turn with the front wheels off the ground, he leans and pushes himself in the desired direction. Although his feet exert an equal and opposite force

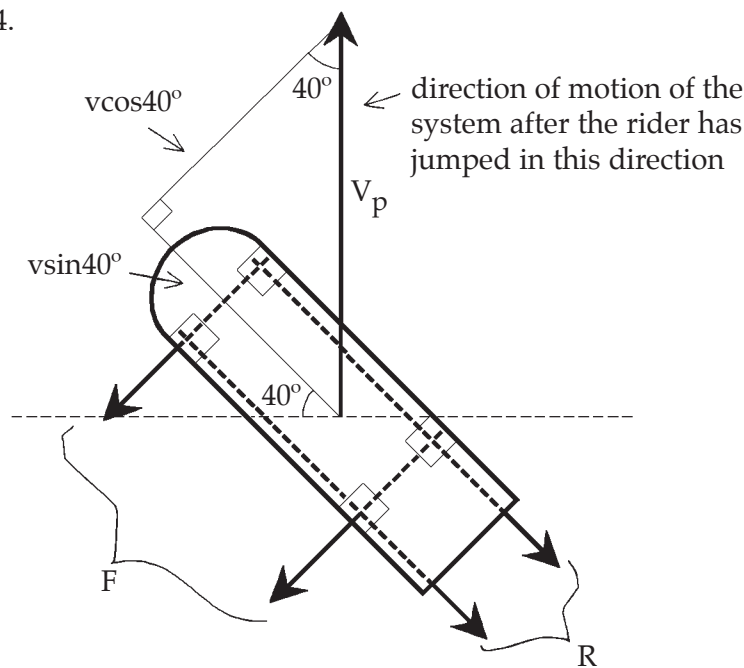
on the board, it will not move, because ground friction opposes the acceleration. His center of mass gains a lateral velocity, and the board stays where it was (see figure 3). Now he completes a 90° turn, and the wheels suddenly point in the direction in which his body is moving. His feet drag the board with him, and since its mass is only a fraction of the rider's mass (3.5 kg compared with 77.5 kg), in effect it accelerates to reach the velocity gained by the rider. Hence, the whole system rolls in the desired direction.

Figure 3.



If the skateboarder wants to turn just 40°, he still has to spring in the direction perpendicular to the direction of the wheels. He will just have to turn the board 40° after accelerating his body at an angle of 90°. When he pulls the board with him but turns it only 40°, friction will cancel out one of his body's velocity components while leaving the one parallel to the new direction of the wheels intact (see figure 4). Hence, he will roll in the desired direction (40° to the initial parallel) with a velocity of  $v_p \sin(40^\circ)$ , where  $v_p$  is what I call the push velocity.

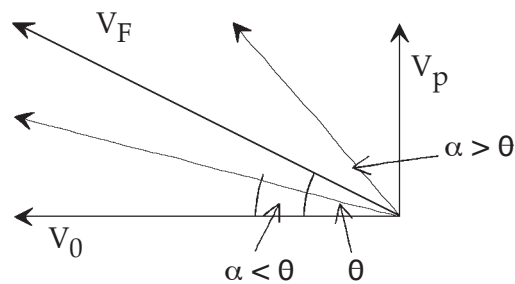
Figure 4.



## 2.5 Acceleration by Turning, Initial Velocity $> 0$

Now the rider is rolling with an initial velocity  $V_0$ . When he pushes himself in the direction perpendicular to  $V_0$ , his center of mass gains another velocity vector,  $V_p$ . The resultant of these two velocities is  $v_f$  (see figure 5). Now the rider has to turn the board towards  $V_p$ , or he falls off the board. If he turns it less than the optimum angle  $\theta$  ( $\arctan(V_p/V_0)$ ), his final velocity will be  $V_0/\cos\mu$ , as ground friction cancels out the extra portion of the perpendicular component  $V_p$ . If the angle turned ( $\mu$ ) equals  $\theta$ , like it should,  $V_f$  will be  $\sqrt{V_0^2 + V_p^2}$ . If  $\mu > \theta$ , the final velocity equals  $V_p/\sin\mu$ .

Figure 5.



However, this model assumes that the board turns instantaneously. In reality, the board turns all the time that the rider is accelerating his mass. Since the rider can push himself only perpendicular to the board, the direction of his acceleration changes as the board turns. This makes the situation considerably more difficult, and I will ????????

## 3 Measurements of the Retarding Forces

### 3.1 Rolling Friction

There is always some friction in the bearings of the wheels, but its effect is relatively small. Another source of resistance to motion is the coarse surface of the pavement, comprising little irregularly shaped stones with protruding sharp edges and some discrete sand particles. Everything the wheels have to push aside or climb over hinders the motion of the system, since it has to exert a force to overcome the obstacles, and consequently it experiences an equal and opposite retarding force. In my experiments, the surface was far from ideal but still quite suitable for skateboarding. Besides, when skateboarding on the street, there will always be some irregularities on the surface, adding to the effect of bearing friction. The relevant quantity is the combined effect of all the sources of resistance to motion, On a relatively uniform surface this force is constant, and its magnitude can be determined with the free roll experiment.

#### 3.1.1 The Free Roll Experiment

This experiment has been conducted on an asphalt surface where there were some impurities, but they were so evenly scattered that rolling friction can be assumed constant. I chose a slope of approximately 60 next to a wall, so that I could measure height very easily by using the horizontal edges of

the wall. I started a few meters up the hill, rolled down the slope, and let the roll continue on a horizontal surface. Then I measured the length of the roll and recorded it. This procedure was repeated ten times to obtain a more reliable value. The value of rolling friction can be calculated by setting the work it has done equal to the change in gravitational potential energy.

### 3.1.2 Results

The distance rolled, $s$ , in meters				
13.6	13.4	13.3	13.4	13.4
13.5	13.2	13.4	13.5	13.3

average distance rolled:  $s = 13.4$  m  
 height:  $h = 0.34$  m  
 mass of the system:  $m = 81$  kg  
 $mgh = Rs$   
 $R = mgh/s = mg(0.34)/(13.4) = 0.025$  mg,  
 $R = 0.025(81)(9.8) = 20$  N.

### 3.1.3 Error Analysis

The results recorded were surprisingly consistent, which indicates that the procedure is not that susceptible to random errors. However, the possibility of a consistent error remains. Air resistance was neglected, but it should not have made any difference, with this low velocities.

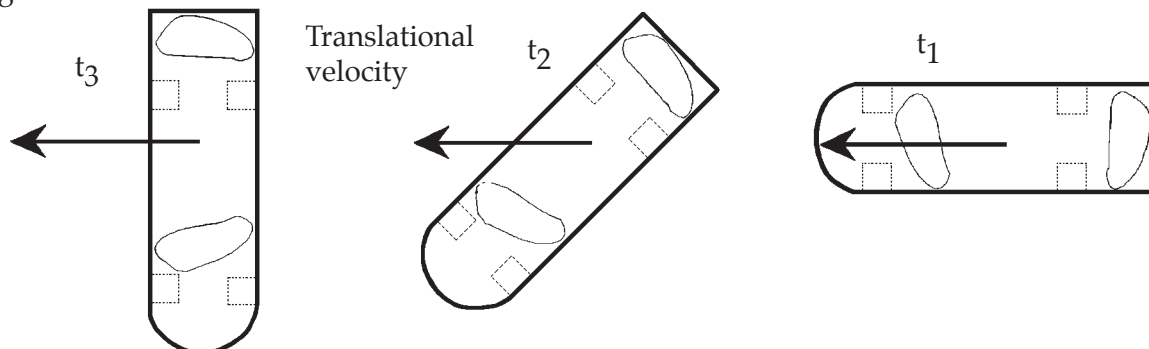
## 3.2 Ground Friction

The friction between the wheels and the ground mainly consists of the molecular interaction between the surface of the wheels and that of the asphalt. The irregularities on the surface mentioned in section 3.1 also have an effect on ground friction. They add to the force opposing the lateral motion of the board as the wheels have to push them out of the way and thus the system loses some of its momentum. The combined effect of all the forces acting against lateral motion is called ground friction. Its magnitude can be figured out with the slide experiment.

### 3.2.1 The Slide

The slide is a skateboarding term for a move where the rider, having an initial velocity, suddenly drags the rear wheels 90° frontside (in the direction he is facing) so that the board becomes perpendicular to the direction of motion (see figure 6).

Figure 6.

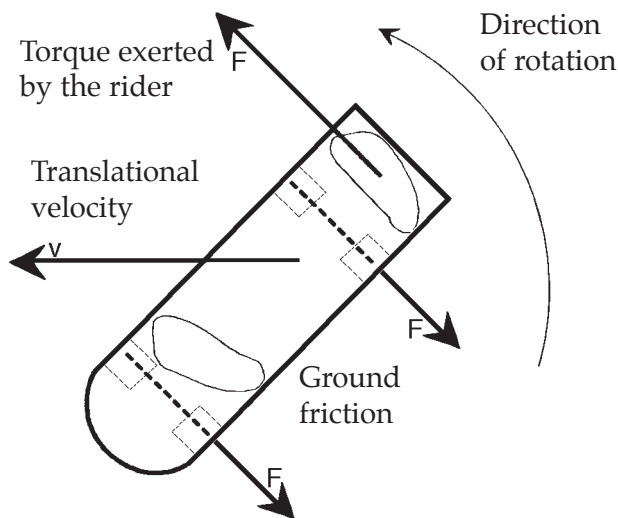


Because the translational velocity vector of the system still points in the original direction, the board continues its motion sideways. As the wheels cannot rotate sideways, they slide, and ground friction becomes the retarding force, replacing the much weaker rolling friction. Hence, the board slides a little distance and stops. This maneuver is the usual way to stop the board, and the only method one can use if velocity is too high for jumping off the board.

The torque needed to turn the board comes from the rider's body. The rider, in turn, has got his rotational momentum from ground friction. The first stage of the slide starts when he accelerates his body counterclockwise (assuming, a right-handed stance) by exerting a couple on the board which is compensated by ground friction. As a result, his body starts to turn while the board continues on its course unaffected.

When his body has attained an adequate rotational velocity and momentum, he uses grip friction to turn the back end of the board counterclockwise by turning his right foot in line with the rotation of his whole body. As the back wheels and the board start to turn, ground friction exerts a force of increasing magnitude that opposes the rotational motion of the system (see figure 7). That force slows down the rotation and stops it when the board is perpendicular to the translational motion.

Figure 7.



However, the rider cannot turn the board  $90^\circ$  instantaneously. As the turn proceeds, the board is, for a short period of time, at an angle to the direction of linear motion. Ground friction opposes only the velocity component perpendicular to the board, while the component parallel to the board is affected by the almost negligible rolling friction. It follows that the net friction has a component to the left. Hence, the translational velocity vector of the system turns counterclockwise. But in a successful slide, the board turns much faster than the linear velocity vector. Consequently, the board turns only a few degrees more than  $90^\circ$  until it becomes perpendicular to that vector.



### 3.2.2 The Slide Experiment

The coefficient of ground friction can be determined by measuring the velocity of the system at the point where the slide begins and the distance the board slides when ground friction decelerates it. I rolled down a slope of a known height, starting, the slide at a fine I had previously drawn on the ground, to indicate the starting position.

After performing the slide and coming to a full stop, I measured the distance to the line. I repeated this procedure ten times to minimize random errors. Using the law of conservation of energy, we can set the change in gravitational potential energy equal to the work done by rolling friction that done by ground friction.

Since the board does not turn instantaneously, we should also take account of the turn preceding the actual slide. However, the turning process involves some fairly complicated mathematics and is still subject to inaccuracies in measurement, provided the equipment I had. Hence, I decided to minimize the magnitude of ground friction affecting the translational velocity of the system at the time of turning, so that the effect of the turn could be neglected and only the distance slid would be relevant.

All experiments were conducted on a wet surface which had a low frictional coefficient. This means lower values for ground friction, which results in longer slides and thus reduces the effect of the turn. I also turned the required 90° as quickly as possible. Just before the turn I would jump lightly, so that not all of my weight rested on the board at that instant. As all these factors decreased the distorting effect of ground friction right before the actual slide started, also the deflection of the original course decreased to a few degrees.

I did ten fairly ideal slides and, recorded the distance slid in each case.

### 3.2.3 Results

The distance slid, d, in meters				
1.35	1.40	1.50	1.40	1.50
1.50	1.45	1.50	1.40	1.50

average distance slid:  $d = 1.45 \text{ m}$

average height:  $h = 0.97 \text{ m}$

rollineg distance:  $s = 6.5 \text{ m}$

mass of the system:  $m = 81 \text{ kg}$ ,

rolling friction:  $R = 0.025 \text{ (m) (g)} = 20 \text{ N}$

ground friction:  $f = ?$

$$mgh = fd + Rs$$

$$f = (mgh - Rs) / d = (81 \text{ (kg)} (9.8 \text{ (m) (s)}^{-2}) (0.97 \text{ (m)}) - (20 \text{ (N)}) (6.5 \text{ (m)}) / 1.45 \text{ (m)} = 440 \text{ (N)}$$

$$f = 0.56(81) (9.8) = 440 \text{ N}$$

### 3.2.4 Error Analysis

These results were surprisingly consistent as well. Sources of error include the aforementioned decelerating effect of ground friction at the time of turning and my inaccuracies in beginning the slide at exactly the starting line.

However, the slides I recorded on video and watched in slow motion started 0–5 cm behind the line, so the latter can almost be neglected.

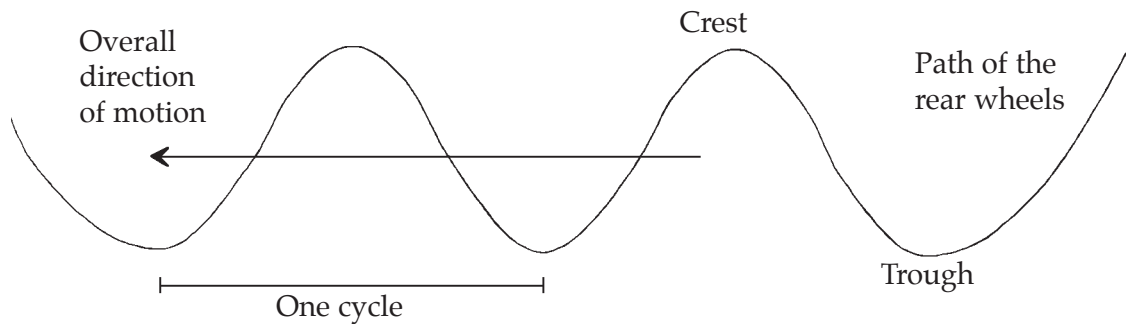
It would have been possible to eliminate most errors if there had been a long enough slope available. I could have recorded two sets of results for two different heights. The difference in changes in potential energy would have shown as a difference in the distance slid. All consistent sources of error would cancel out, since the start of the slide would be the same for both cases. Unfortunately, the surface quality requirements and the need to easily measure height ruled out the other indoor places available.

## 4 Maximum Velocity Attainable

### 4.1 Zigzagging

The skateboarder can accelerate the system by the method described in 2.5. Each turn increases the velocity, and a continuous repetition of acute-angle turns back and forth yields an acceleration. The path of the board resulting from these maneuvers is sinusoidal. (see figure 8). The net acceleration of the board can be calculated by, finding out the change in velocity between a crest and a trough divided by the time taken between those two points. The net acceleration multiplied by the mass of the system gives the net external force acting on the system during zigzagging.

Figure 8.



### 4.2 Maximum Velocity

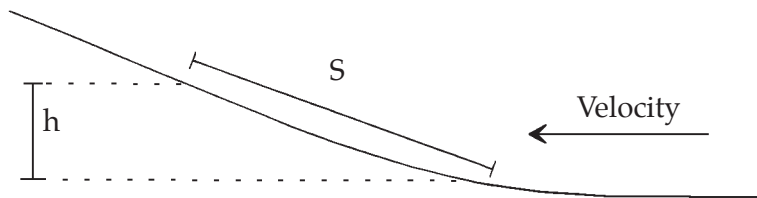
Zigzagging cannot accelerate the board forever, since rolling friction tends to decelerate it at a constant rate. When starting to accelerate, the mean force the rider exerts by zigzagging is greater than rolling friction, and the system accelerates forward. However, the faster the system travels, the smaller the change  $V_f$  becomes, since  $V_f^2 = (V_0^2 + V_p^2)$  (see 2.5) and  $V_p/V_0$  approaches zero, if the push velocity is constant, i.e. if the rider works equally hard all the time. Hence, the change in velocity in a turn decreases, which means a smaller acceleration and a smaller mean force. Once the accelerating force has decreased so much that it equals rolling friction, the system has reached its terminal velocity. Knowing the magnitude of rolling friction and the terminal velocity, we can calculate the average force exerted by zigzagging.

#### 4.2.1 The Maximum Velocity Experiment

In this experiment I zigzagged along an almost horizontal surface until I could no longer increase my velocity. At that point any further attempt to increase velocity would have resulted in slippage in the back wheels, as ground friction was already very close to its maximum value. After reaching the terminal velocity I let the board roll uphill, measuring the distance it rolled and the height it climbed. I repeated this procedure ten times.

#### 4.2.2 Results

Figure 9.



S/M	6.7	6.6	6.1	6.0	6.3	6.3	6.9	6.2	6.2	6.3
h/m	0.31	0.28	0.26	0,26	0.29	0.27	0.32	0.29	0,28	0.29

average distance rolled:  $S = 6.36\text{m}$   
 average height climbed:  $h = 0.285\text{cm}$   
 rolling friction:  $R = 0.025(\text{m})(\text{g})$   
 maximum velocity:  $V_m = ?$

$$1/2mv_m^2 = mgh + Rs$$

$$v_m = \sqrt{(2(mgh + Rs)/m)} = \sqrt{(2(mg(0.285) + (0.0225)mg(6.3)/m)} = \sqrt{(0.893g)}$$

$$v_m = 2.96\text{m/s.}$$

#### 4.2.3 Error Analysis

If this experiment had been conducted on a horizontal surface and I had only measured the length of the roll, the distance measured would have been longer and the results more accurate. Due to the lack of proper facilities at this time of the year, I had to resort to the method described earlier. There is theoretically nothing wrong with that either, but the precision of the end result probably suffered a little due to inaccuracies in measuring the height, though the values were still relatively consistent.

### 4.3 Calculation of Push Velocity, Optimum Angle

Now we know the terminal velocity, ground friction, and rolling friction. If we measure the length of the path between a crest and a trough in the sinusoidal trail of zigzagging at maximum speed, we can work out how much rolling friction decreases the velocity of the board during half a cycle. This is compensated by the effect of the push velocity on the resultant velocity, which has to equal the decrease due to rolling friction, since the system is traveling, at a constant speed.

However, in addition to the usual rolling friction, I had to overcome the gravitational force decelerating the system, since the surface along, which I accelerated was not quite level. I found that when I rolled it down, the velocity of the board remained constant. As there was no perceptible net acceleration, the gravitational force pulling the system down the slope equaled

rolling friction. Therefore, the surface was a friction-compensated slope. When 1 zigzagged up the slope, the resistance to motion was approximately double the value of rolling friction.

If we assume that the board does not turn while the rider accelerates his body sideways at an extreme point, i.e. the time taken for lateral acceleration is much less than the time taken by half a cycle, we can easily find out the effective push velocity needed to counter the resistance to rolling.

$$\begin{aligned} \text{average distance from a crest to a trough:} & \quad s = 1.38 \text{ m} \\ \text{deceleration due to resistance to rolling:} & \quad a = 2R/m = 0.025g = \\ & \quad 0.025(9.8) = 0.25 \text{ m/s}^2 \\ \text{max velocity (immediately after a push):} & \quad v_m = 2.96 \text{ m/s} \\ \text{time taken when traveling half a cycle:} & \quad t = ? \\ s = v_m t - 1/2(2a)t^2 \\ at^2 - v_m t + s = 0 \\ (0.25)t^2 - (2.96)t + (1.38) = 0 \\ t = 0.49 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{velocity before a push:} & \quad v_0 = \sqrt{(v_m^2 - v_p^2)} \\ \text{push velocity:} & \quad v_p = ? \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (v_m^2 - v_p^2) &= v_m^2 - (2a)t^2 \\ v_m^2 - v_p^2 &= v_m^2 - 4at v_m + (2at)^2 \\ v_p &= 2\sqrt{(at(v_m - at))} = 1.17 \text{ m/s} \end{aligned}$$

To find out the time taken ( $t_p$ ) to reach this velocity, the following formula can be applied:

$$\begin{aligned} v_p &= f t_p / m, \\ t_p &= m v_p / f = m v_p / (0.56mg) = v_p / (0.56g) = (1.17) / ((0.56)(9.8)) = 0.22 \text{ s} \end{aligned}$$

As we saw in 2.5, the optimum angle for turning is given by  $\arctan(v_p/v_0)$ . As we can substitute  $\sqrt{(v_m^2 - v_p^2)}$  for  $v_0$ , we get a value for the optimum angle, assuming an instantaneous lateral push.

$$\begin{aligned} v_m &= 2.96 \text{ m/s} \\ v_p &= 1.17 \text{ m/s} \\ v_0 &= \sqrt{(v_m^2 - v_p^2)} = 2.72 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\tan\theta = 1.17/2.72 = 0.43 \quad \Rightarrow \theta = 23^\circ$$

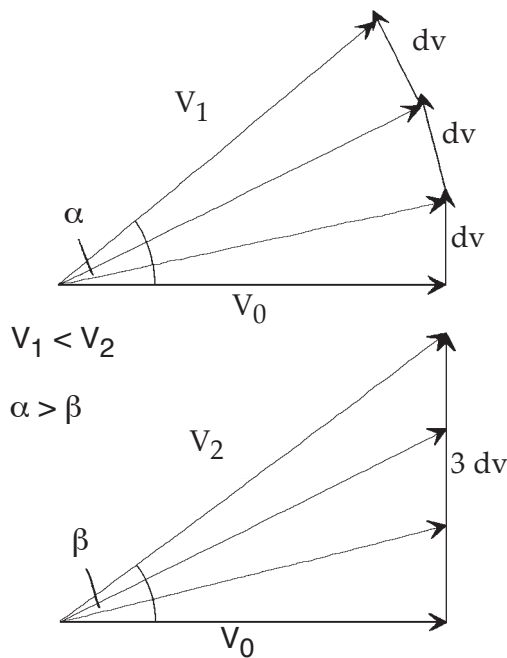
The actual angle of each turn is difficult to measure, since the path of the board is sinusoidal and it turns gradually. If we calculate the angle between two lines drawn from a trough to a crest and then from that crest to the next trough, we get  $57^\circ$  (average of three measurements). This differs significantly from the previous value for the optimum angle. Yet it is reasonable to assume that each turn was approximately at the optimum angle, since I have

had enough time and experience with a skateboard to have learned if I have not been doing something right.

#### 4.4 The Actual Acceleration Process

It seems that I have been accelerating my body sideways and turning the board at the same time. Performing several little turns instead of one bigger turn decreases the magnitude of the resultant velocity vector and deflects it further away from the original velocity vector (see figure 10). Dividing the  $v_p$  vector into three pieces and adding them separately to the  $v_0$  vector, we see that as each piece is added, the angle is greater and the hypotenuse is smaller than in the adjacent case where the  $v_p$  vector is added at one instant. In reality, the push velocity vector is divided into almost infinitesimal pieces, each of which is then added to the velocity vector by the formula  $v_{new} = \sqrt{(v_m^2 - v_p^2)} \approx v + (dv^2)/2$ . It follows that in order to achieve the effective push velocity calculated by using the instantaneous push model, the rider has to work harder than the previous figures suggest, i.e. he has to apply ground friction for longer than 0.22 seconds to accelerate his body.

Figure 10.



If the rider pushes himself longer than 0.22s, the time taken by the push begins to approach the time taken by half a cycle (0.49s). It is also impossible to start pushing in one direction immediately after pushing in the other, since the rider has to be leaning in the direction in which he is accelerating. Taking into account the shifting of his weight after each half a cycle and the gradual changes in acceleration while the turn proceeds, we can say that there is not much time wasted in the process. That is how it should be, since I did not feel that the velocity could be increased when I was zigzagging as fast as I could for the maximum velocity experiment.

The instantaneous push model does not work in reality, because the rider cannot let the board continue on its course while accelerating his body in another direction. He would lose control of the board and probably fall. This

is not obvious, though, since in an ideal case (ground friction at its maximum all the time) only 0.22 seconds would be required to reach the push velocity needed to maintain the terminal velocity of the system. To figure out the displacement during this acceleration, we can apply the following formula:  $s = 1/2at^2 = 1/2(5.44)(0.22)^2$ ,  $s = 13\text{cm}$ . Hence, by allowing, his center of mass to depart 13 cm from the starting position, he would gain the sufficient lateral velocity. However, since his center of mass is already tilted to one side of the board and thus not in equilibrium when he begins the push, his center of mass ends up too far to one side of the board. At this point it is difficult for the rider to draw the board along with his feet quickly enough to, prevent himself from falling to the ground.

## 5 Conclusion

**W**e have now seen what factors enable the skateboarder to accelerate without touching the ground with his feet. When he is rolling, he uses ground friction to accelerate and gain a lateral velocity component. Then he turns the board in the direction of the resultant velocity. As the velocity of the system increases, the efficiency of this method decreases. When the net accelerating force equals rolling friction, the system has attained its terminal velocity.

The terminal velocity can hardly be increased by studying the underlying phenomena in the context of physics; instead, the results confirm that it cannot. Practice teaches a skateboarder to zigzag, in a fairly optimal way, given his physique, the quality of the board and that of the ground surface. However, this investigation has satisfied my curiosity and helped me construct a theoretical model to explain the situation.

At first it seemed probable that the experiments were susceptible to various random errors caused by the irregularities in the ground surface and in my own movement. As I was expecting numerous problems, I was delighted to find out the consistency of the empirical results. The only problem I encountered was the difficulty in the quantitative analysis of the situation where the rider turns the board and keeps accelerating sideways at the same time. Hence, only the end results and a qualitative analysis are provided.

An accurate video camera shooting my zigzagging from directly above would have helped in further analysis. The next step would be to examine the zigzagging more closely and create a quantitative model that explains it. I would also like to investigate the effect of the height of the rider on terminal velocity, since it dictates how far the rider's center of mass can deviate from the course of the board if balance is to be maintained.

## Bibliography

Burghes, David N. 1975. *Modern Introduction to Classical Mechanics & Control*. Chichester: Ellis Horwood Ltd.

Kervinen, Martti, Reino Korpela & Kaarle Kurki-Suonio. 1982. Kvantti I: fysiikan laaja oppimäärä. Tampere: WeiligGöös.

Muncaster, Roger. 1989. A-Level Physics. 3rd Ed. Cheltenham: Stanley Thornes (Publishers) Ltd.

Roberson, Robert E. 1988. Dynamics of Multibody Systems. Berlin: Springer-Verlag.

Simons, Lennart. 1946. Fysiikka korkeakouluja varten. Porvoo: WSOY.